EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico de Querétaro

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA PROCESAR PURGAS DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

Que para obtener el Grado de*:*

DOCTORA EN INGENIERÍA

presenta:

MA. GUADALUPE PLAZA

Dirigida por:

Director: Dra. María Luisa Mendoza López

Codirector: Dr. José de Jesús Pérez Bueno

Febrero 2025

ÍNDICE GENERAL

Pág.

Índice de figuras III

Índice de tablas VI

Agradecimientos VIII

Resumen, palabras clave XI

Abstract, keywords X

Capítulo I Introducción

1.1 Introducción 1
1.2 Planteamiento del problema (Pregunta de investigación) 2
1.3 Objetivos generales y específicos 4
1.4 Hipótesis (Definición conceptual de variables de estudio, especificando la variable explicativa y la de respuesta) 4
1.5 Justificación del Proyecto 5

Capitulo II Marco Teórico

2.1 Estado del arte 8
2.2 Fundamentos teóricos 11
2.2.1 Materiales 11
2.2.2 Procesos y Tecnologías (equipos, dispositivos o máquinas) analizados, para el logro de los objetivos 14
2.2.2.1 Energía solar 16
2.2.2.2 Colectores solares 20
2.2.2.2.1 Tipos de Colectores solares 22
2.2.2.3 Fluidos de transferencia de calor 29
2.2.2.4 Hornos de aire caliente 31

Capítulo III Metodología

3.1 Caracterización de las purgas 32
3.2 Definición conceptual y operacional de las variables usadas en el estudio 32
3.3 Modelación 32

Capítulo IV Resultados

4.1 Análisis y discusión 41

4.1.1 Selección de purgas 41
4.1.2 Caracterización
4.1.2.1 Prueba de ensayo a la flama 43
4.1.2.2 Dureza 44
4.1.2.3 DSC-TGA 45
4.1.2.4 FTIR 46
4.1.2.5 Ángulo de contacto 50
4.1.2.6 Modulo de Young RFDA 51
4.1.2.7 Comportamiento al calentamiento 53
4.1.2.7.1 Calentamiento en mufla 53
4.1.2.7.2 Calentamiento con radiación solar concentrada a través de lente Fresnel. 54
4.2 Desarrollo de la propuesta de mejora 55
4.2.1 Diseño y manufactura del prototipo considerando el uso de energías renovables
4.2.1.1 Sistema de captación solar.- Concentrador 57
4.2.1.2 Zona de ablandamiento 67
4.2.1.3 Proceso de Corte 82

Capítulo V Conclusiones

5.1 Conclusiones generales 85

Referencias bibliográficas 88

Anexos 95

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sectores manufactureros de plástico en México 5
Figura 2 procesos de transformación de plásticos 6
Figura 3 Purgas de procesos de inyección 7
Figura 4 Demanda y precios históricos a nivel mundial de combustibles fósiles y escenario previsto para 2035 15
Figura 5 CO_2 en la atmósfera 15
Figura 6 Temperatura de la tierra y el océano 16
Figura 7 Mapa mundial de radiación solar 17
Figura 8 Mapa de Irradiación Solar, México, kWh/m^2 al día 18
Figura 9 Radiación incidente en Querétaro 18
Figura 10 Variables atmosféricas en Querétaro 19
Figura 11 Radiación promedio mensual en Querétaro 19
Figura 12 Colector solar simple 20
Figura 13 Clasificación de las tecnologías de energía solar 22
Figura 14 Representaciones de la técnica de colector de concentrador plano 24
Figura 15 Representaciones del colector de concentrador parabólico compuesto 25
Figura 16 Canales parabólicos 25
Figura 17 Reflector de campo de helióstatos 26
Figura 18 Fresnel lineal, trayectoria de los rayos solares 27
Figura 19 Lente Fresnel 28
Figura 20 Matriz de consistencia del proyecto 33

Figura 21 Pasos en la realización de la prueba de ensayo a la flama en plásticos 34

Figura 22 Evaluación de dureza 35

Figura 23 Modelo Drop Shape DSA30 36

Figura 24 Resultados de la prueba Ángulo de contacto 37

Figura 25 Equipo RFDA 38

Figura 26 Calentamiento con lente fresnel 39

Figura 27 Esquema general del trabajo para el diseño 39

Figura 28 Distribución y promedios de los valores de dureza antes y después del ablandamiento. 45

Figura 29 Análisis DSC y TGA para los cinco polímeros estudiados 46

Figura 30 FTIR para PP-ABS 47

Figura 31 FTIR para PC-ABS-PP 48

Figura 32 FTIR para Acetal (POM) A) Purga, B) Obtenida de fuentes bibliográficas 48

Figura 33 FTIR para Nylon 6,6 (poliamida 6,6) con cargas 49

Figura 34 Pantalla de resultados del conjunto de pruebas RFDA 52

Figura 35 Comparación del módulo de Young promedio antes y después del ablandamiento 52

Figura 36 Altura y ángulos de inclinación utilizados 54

Figura 37 Mapa de procesos 56

Figura 38 Análisis QFD 58

Figura 39 Ubicación de postes de altura y referencias para los ángulos 59

Figura 40 Planos del dispositivo diseñado

Figura 41 Simulación ANSYS 61

Figura 42 AMEF del soporte para el sistema de captación solar 62

Figura 43 Dispositivo manufacturado 63

Figura 44 Diagrama de Pareto para diámetro 65

Figura 45 Gráfica de interacciones para diámetro 66

Figura 46 Gráfica de cubo para diámetro 66

Figura 47 Diagrama “P” Zona de ablandamiento 67

Figura 48 Reservorio de calor para el ablandamiento 69

Figura 49 Correlación entre altura y diámetro 72

Figura 50 Correlación entre altura y temperatura 73

Figura 51 Posición de los termómetros y ventilador 75

Figura 52 Gráfica de Pareto para Y1 77

Figura 53 Gráfica de Efectos principales y de interacciones para Y1 78

Figura 54 Gráfica de cubo para Y2 (posición central) 79

Figura 55 Temperaturas obtenidas con placa de cobre vs grafito 80

Figura 56 Purga antes y después de reblandecer 81

Figura 57 Diagrama “P” del proceso de corte 82

Figura 58 Corte A) Cuchilla, B) Sierra eléctrica, C) Sierra manual 83

Figura 59 Corte con Sierra 84

Figura 60 Sistemas y subsistemas que componen la propuesta de solución 87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Temperaturas requeridas por tipo de proceso 21

Tabla 2 Purgas 42

Tabla 3 Observaciones realizadas durante la prueba de ensayo a la flama 43

Tabla 4 Análisis de la dureza 44

Tabla 5 Resultados de Ángulo de contacto 50

Tabla 6 Resultados de RFDA 51

Tabla 7 Resultados del calentamiento en mufla 53

Tabla 8 Resultados de Comportamiento al calentamiento con radiación concentrada 55

Tabla 9 Diagrama de bloques funcionales 56

Tabla 10 Planteamiento del diseño de experimentos 63

Tabla 11 Plan de experimentación con los diámetros obtenidos 64

Tabla 12 Análisis de varianza para diámetro 65

Tabla 13 Valor de R del modelo que resulta con las variables evaluadas 66

Tabla 14 Resultados etapa “A” 68

Tabla 15 Propiedades de los materiales usados 69

Tabla 16 Resultados para la correlación entre diámetro y temperatura 71

Tabla 17 ANOVA, Altura vs diámetro 71

Tabla 18 ANOVA, Altura-temperatura 73

Tabla 19 Planteamiento del diseño de experimentos 74

Tabla 20 Plan de experimentación con las temperaturas obtenidas 76

Tabla 21 ANOVA Y1 77

Tabla 22 Resumen de resultados de temperatura, en las posiciones de Y 78

Tabla 23 Matriz de Pugh 83

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Tecnológico Nacional de México por aprobar la creación de este doctorado y de darme con ello la oportunidad de ampliar mis conocimientos.

Agradezco al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica CIDETEQ, por darme todas las facilidades para la realización de gran parte de la experimentación.

Agradezco a Reciclajes Victoria por permitirme ingresar a sus instalaciones, darme los materiales y siempre estar disponibles para contestar todas mis preguntas.

Agradezco al Dr. Vázquez Canseco por darme la oportunidad de participar en este doctorado

Agradezco a mis profesores y compañeros por haberme brindado no solo sus conocimientos si no su valiosa amistad.

Agradezco a mis directores de tesis, su paciencia y amplio conocimiento del tema hicieron posible este trabajo.

Un agradecimiento muy especial a la Dra. Maria Luisa, quien siempre me brindo el apoyo, el consejo, los conocimientos, su tiempo y mucho más, no tengo palabras para decirle lo agradecida que estoy.

Finalmente le agradezco a mi familia quienes siempre han apoyado mis sueños y han caminado a mi lado.

Y como no mencionar a Dios que es el padre de la ciencia y amorosamente nos permite conocer más de su maravillosa creación.

RESUMEN

Un residuo de inyección de plástico conocido como “purga” no puede reintegrarse a la cadena de reciclaje debido a su forma, tamaño y composición. Su molienda no puede realizarse con molinos tradicionales debido a las variaciones significativas en tamaño y forma. Este trabajo propone un proceso y el diseño de un dispositivo que opera con energía solar para cortar las purgas sin exceder la temperatura de degradación. La reducción de tamaño permite su reprocesamiento, revalorización y manejo. Las purgas son mezclas de polímeros procesados, por lo que no se cuenta con información de su caracterización. Se realizaron algunas caracterizaciones antes del diseño del proceso y después del corte de las purgas. Se evaluaron algunas de las purgas más representativas en una empresa de reciclaje. El ensayo a la flama determina que todas las mezclas de materiales conservan la termoplasticidad. La dureza (Shore D) presentó cambios en cuatro de las purgas evaluadas, con resultados en un rango de 59-71 antes del ablandamiento y 60-68 después del ablandamiento. El módulo de Young se analizó utilizando el método no destructivo de análisis de frecuencia de resonancia amortiguada (RFDA), el cual relaciona la frecuencia vibratoria que se produce después de una perturbación inicial mediante el golpe con un martillo, el resultado obtenido fue de 2,38–3,95 GPa antes del ablandamiento y de 1,7–4,28 después del ablandamiento. Se evaluó la viabilidad de cortar las purgas a su temperatura de ablandamiento. Esto se logró en todas las purgas evaluadas a 250–280 ◦ C. La FTIR permitió corroborar que no hubo cambios significativos en las purgas después del ablandamiento. Los cinco tipos de purgas evaluadas fueron polipropileno-ABS, policarbonato-ABS-polipropileno, nailon 66 amarillo, acetal y nailon 66 negro con cargas, y todas se cortaron a su temperatura de ablandamiento, lo que permitió su manipulación en pasos de proceso posteriores.

Palabras clave:

Reciclaje; Purgas; Polímeros; Procesamiento; Residuos

ABSTRACT

A plastic injection waste known as “purge” cannot be reintegrated into the recycling chain due to its shape, size, and composition. Grinding these cannot be carried out with traditional mills due to significant variations in size and shape. This work proposes a process and the design of a device that operates with solar energy to cut the purges without exceeding the degradation temperature. The size reduction allows reprocessing, revalorization, and handling. The purges are mixtures of processed polymers, so their characterization information is unavailable. Some characterizations were conducted before the design of the process and after the cut of the purges. Some of the most representative purges in a recycling company were evaluated. The flame test determines that all material mixtures retain thermoplasticity. The hardness (Shore D) presented changes in four of the purges being assessed, with results in a range of 59–71 before softening and 60–68 after softening. Young’s modulus was analyzed by the impulse excitation technique (IET), which was 2.38–3.95 GPa before softening and 1.7–4.28 after softening. The feasibility of cutting purges at their softening temperature was evaluated. This was achieved in all the purges evaluated at 250–280 ◦ C. FTIR allowed for corroboration of no significant change in the purges after softening. The five types of purges evaluated were polypropylene-ABS, polycarbonate-ABS-polypropylene, yellow nylon 66, acetal, and black nylon 66 with fillers, and all were easily cut at their softening temperature, allowing their manipulation in subsequent process steps.

Keywords

Recycling; purges; polymers; processing; waste

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El efecto invernadero, el aumento de temperatura en el globo terráqueo y el cambio climático entre otras cosas provocan un deterioro ambiental que cada vez se vuelve más tangible y esto está generando muchos problemas de salud sobre los seres vivos (Lan et al 2022), (Theron et al 2022), (Bose-O'Reilly et al., 2022), (Gulland et al., 2022), (Murken & Gornott, 2022), (Hu et al 2022). Por ello es urgente realizar acciones que coadyuven en la mejora del medio ambiente y la reducción de emisión de gases. Por otro lado está el peligro de una crisis energética (Çubukçu & Tari, 2022), (Khandaker et al., 2022) , (Vijay et al 2022). Por ello se requiere de una estrategia para sustituir las energías basadas en el carbón y el petróleo por otras energías renovables y limpias.

El problema que se aborda en este proyecto tiene una amplia relación con estos aspectos ya que como se detalla más adelante, el objetivo general, es reintegrar a la cadena productiva un desecho plástico (purga), que actualmente en su mayoría se quema para obtener energía o se envía al relleno sanitario, ambas tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente. La razón por la que este material tiene problemas en su reintegración, es el tamaño y la forma que tiene, por esto el proyecto se enfoca principalmente en este aspecto.

El proceso mediante el cual se da solución a este problema contempla el uso de fuentes de energía renovables

Los materiales poliméricos se pueden reciclar y reutilizar repetidamente, algunas veces solo requieren ser mezclados con una proporción de material virgen para obtener un ajuste en sus propiedades. Se ha demostrado que los polímeros reciclados en general son ambientalmente preferibles a los materiales vírgenes dado que la fabricación de productos con este tipo de material tiene cuatro veces más impacto ambiental por sobre los fabricados con material reciclado. En general el reciclaje es una forma de transformar los desechos plásticos en productos de alto valor y puede disminuir significativamente el impacto ambiental (Dorigato, 2021), (Chanda, 2021), (Abdou et al 2021), (Zhao et al 2022), (Johansen et al 2022).

Cualquier aportación que sume a la recuperación de los desperdicios poliméricos representa una ganancia, no solo en términos económicos si no también ambientales. Tal es el caso que se presenta en este estudio el cual evalúa las condiciones en las que las purgas puedan

cortarse para que estas puedan reintegrarse a la cadena de reciclaje.
Para abordar el problema, se busca literatura referente al uso y manejo de estos materiales, aunque no se encontró información específica para las purgas, si se encontró en lo general como se trabaja con los residuos plásticos y esto dio una perspectiva de solución, esta información esta detallada en el capítulo 2.

1.2 Planteamiento del problema

La empresa Reciclajes Victoria ubicada en Carretera estatal 500 Km 30+500, El Marqués, Querétaro es una empresa dedicada al reciclaje de plásticos, mayormente sus insumos provienen de las empresas de la región dedicadas a la producción de artículos de plástico, su proceso en general consiste en;
1.-Clasificación de tipo de piezas
2.-Separación de las piezas plásticas que están ensambladas con otros tipos de materiales
3.-Corte manual de piezas grandes a piezas más pequeñas que puedan entrar a los molinos
4.-Molido de material
5.-Limpieza y separación por tipo de plástico
6.-Empaque y venta.
Dentro de sus insumos, existe un tipo de plástico proveniente de la limpieza de equipos de inyección de sus proveedores, llamada purgas (más adelante se detalla lo que es una purga), actualmente la empresa solo lo recibe, clasifica, almacena temporalmente y lo revende, exportando a diferentes países de Asia y Europa. Cabe aclarar que el Mercado nacional para este producto es limitado por lo cual las ganancias son mínimas e incluso se pueden presentar pérdidas monetarias. Sin embargo, como parte de los contratos con sus proveedores, todos los residuos sólidos no tóxicos son retirados de las empresas de manufactura. Derivado de los acuerdos internacionales para la importación de residuos, la empresa Reciclajes Victoria ha reducido considerablemente la exportación de purgas, esto genera una acumulación dentro de las instalaciones de la empresa con todos los problemas que esto conlleva, que entre otros son: Falta de espacio, costo de movimiento del material, costo de contenedores, alta peligrosidad por el riesgo de combustión.

Existen algunos rellenos sanitarios autorizados para recibir este tipo de material; pero implica un costo es de 2,800 pesos/2.5 (ton.), La norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010, describe las condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo, esta determina que tener un Inventario de sólidos combustibles, incluido el mobiliario del centro de trabajo igual o mayor a 15,000 kg representa un alto riesgo de incendio. Las purgas están compuestas principalmente por: Polietileno (PE), Polipropileno (PP), HIPS – Poliestireno de Alto Impacto, ABS, Poliamida (PA), Poliacetal (POM), algunas de estas combinadas con algunas cargas (material compuesto que incluye partículas de refuerzo y composición diferente) y pueden estar mezcladas entre sí. Este material tiene una forma irregular en tamaño y dureza tal que no es posible triturarlo en los equipos disponibles en la empresa y que conllevan una inversión adicional en infraestructura que económicamente reduce la viabilidad por el costo-beneficio. Este problema puede presentarse en todas las empresas que dan servicio de manejo de residuos sólidos y que requieren una solución que sea económica, ecológica y sustentable.

Ahondando en este problema, es conveniente mencionar que México pertenece a la Convención de Basilea sobre el control del movimiento transfronterizo de los desechos y su eliminación. Se tienen 170 países miembros y el objetivo es proteger el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos derivados de la generación, el manejo, el movimiento transfronterizo y la eliminación de sustancias peligrosas. En el apartado B3010 se aborda lo referente a los polímeros. De acuerdo a las estadísticas de la convención, el tránsito de estas sustancias comienza la mayoría de veces en los países desarrollados y acaba en Asia –principalmente en China, Indonesia, Malasia y Filipinas, donde la mayoría de los polímeros terminan incinerados. Según los datos de la ONU, en 2017 China – incluyendo Hong-Kong como una puerta de entrada también a ese país– importó 7,7 millones de toneladas de residuos plásticos, lo que supuso casi el 60% de todo lo exportado en el mundo. Pero en 2018 el Gobierno de China decidió cerrar casi por completo la puerta a esos residuos, lo que provocó un grave problema internacional. En el mes de abril 2019, a raíz de estos problemas, la convención determino modificar los acuerdos a este respecto para poner en marcha una regulación para el plástico la cual se aplica a partir del 2021. Los exportadores tendrán que obtener el consentimiento de los países de destino antes de enviar la mayoría de desechos plásticos contaminados, mezclados, o imposibles de reciclar (“Artículos escritos por Manuel Planelles | EL PAÍS,” n.d.) por lo que se deberán estar pendientes a la publicación de las nuevas reglas.

1.3 Objetivos generales y específicos

Objetivo general

Diseñar y fabricar un dispositivo-proceso que permita la reintegración de las purgas de inyección de plásticos a la cadena de reciclaje.

Objetivos específicos

1.- Identificar y clasificar los diferentes tipos de purgas con base a composición, fuente de generación y posible tratamiento de reciclaje.
2.- Caracterizar las purgas más representativas mediante: Prueba de ensayo a la flama, Dureza, TGA, FTIR, ángulo de contacto, RFDA y comportamiento al calentamiento.
3.- Diseñar un dispositivo para reducción de tamaño y forma.
4.- Realizar la manufactura del prototipo diseñado considerando el uso de energías renovables.
5.- Determinar la variación en las propiedades del material obtenido (generar intervalos de valores en propiedades).

1.4 Hipótesis

Este trabajo explora si la utilización de energía solar para el reblandecimiento térmico y corte de purgas poliméricas provenientes de la industria de Querétaro podría ser viable acotando a mantener una variación menor al 5% en sus propiedades evaluadas independientemente de la mezcla original, lo que implica que las temperaturas alcanzadas y el control de la variabilidad de ellas mediante fuentes de energía renovable podrían ser suficientes para reblandecer los polímeros sin degradarlos, así como si el proceso puede ser controlado bajo diferentes condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, contribuyendo al desarrollo de la economía circular de los materiales.

1.5 Justificación del Proyecto

Desde la aparición del primer polímero hasta nuestros días, el uso de este material se ha ido incrementando, de tal manera que prácticamente es posible verlo en todo tipo de productos, incluso los polímeros han ido reemplazando a otros materiales como el metal, las cerámicas, el vidrio etc. El rápido aumento de la población en los últimos cincuenta años ha aumentado significativamente la demanda de polímeros que representan una grave amenaza para el medio ambiente, ya que la mayoría de los polímeros sintéticos no son biodegradables (Chohan & Singh, 2021). La Ciudad de Querétaro está situada en un corredor industrial entre CdMx-Aguascalientes que se ha destacado en los últimos años por su dinamismo en varios sectores entre las que destacan la automotriz, electrónica, aeronáutica y alimentos entre otros como se puede apreciar en la figura 1.



Figura 1 Sectores manufactureros de plástico en México, grafica tomada de (Conde, 2012)

Estas empresas en su mayoría usan procesos de Inyección y extrusión entre otros (como lo muestra la figura 2).

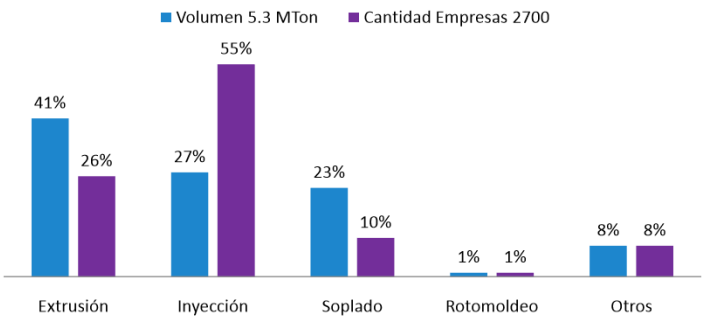


Figura 2 procesos de transformación de plásticos, gráfica tomada de (Conde, 2012)

Cuando en un proceso de inyección de plásticos hay un cambio de tipo de pieza a producir, es indispensable que el nuevo material sea homogéneo, por lo que se requiere realizar una limpieza tanto del molde o dado como de todos los componentes que tienen contacto con el polímero de tal forma que se garantice que en el sistema no existe material de las piezas producidas previamente y de esta forma evitar defectos en las nuevas piezas. La forma tradicional en la que se realiza esta limpieza, es ir haciendo una introducción paulatina del nuevo material, el cual arrastra al anterior hasta eliminarlo (sin ejecutar la inyección en el molde de la pieza). El material resultante de esta limpieza se conoce como “Purga” que es una mezcla de más de un polímero, cargas o aditivos con un tamaño y forma irregular.

Muchas de las fallas y atrasos en la producción se deben a una limpieza inadecuada de los equipos. Defectos como puntos negros, o migraciones de color, se deben a una inadecuada remoción del material previamente usado. Este material en su gran mayoría es recolectado por empresas dedicadas el reciclaje. Cabe mencionar que en estos procesos de limpieza no se puede utilizar agua ni algún tipo de solvente porque podría causar daños irreparables al equipo. La limpieza manual no es recomendable debido a las implicaciones de armado y desarmado de los equipos, esta práctica requiere varias horas de trabajo y un tiempo perdido de producción de la máquina por lo que la generación de purgas es un paso prácticamente inevitable. Existe en el mercado un tipo de material especial para esta limpieza conocido como “compuestos de purga”. Sin embargo, muy pocas empresas lo emplean ya que implica un costo y un paso adicional en el proceso. Algunas de las purgas recolectadas por la empresa Victoria. 1.- Policarbonato-ABS+Polipropileno (PC-ABS+PP). 2.-Nylon 66 amarillo, 3.-Nylon 66 negro, 4.-Polipropileno-ABS (PP-ABS), se muestran en la figura 3

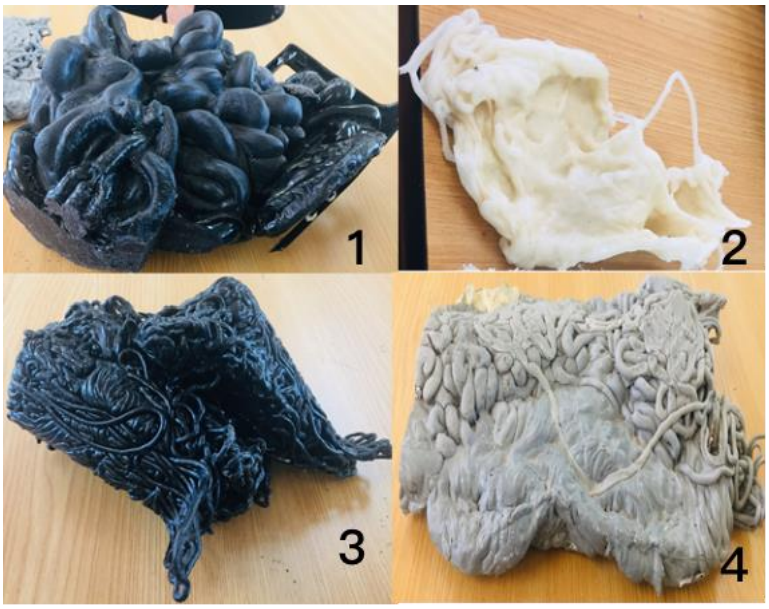


Figura 3 Purgas de procesos de inyección

CAPÍTULO 2
MARCO TEÓRICO

En esta sección se documenta literatura reciente y pertinente de los temas que se relacionan con el proyecto, la información se presenta en dos subtemas: 2.1 Abarca el estado del arte referente a lo que se está realizando en cuanto al reciclaje de desechos plásticos en general y 2.2 los fundamentos teóricos necesarios para abordar el problema.

2.1 Estado del Arte

Con todo el éxito en el desarrollo tecnológico de los plásticos, esta industria no ha llevado un desarrollo a la par en la previsión de reciclado de los productos. Actualmente los métodos empleados para el reciclaje de los plásticos pueden ser agrupados en: Primario, secundario, terciario y cuaternario (Arandes Esteban, Bilbao Elorriaga, & López Valerio, 2004), aunque la referencia no es del todo reciente en la actualidad se siguen manejando igual. En la revisión del estado del arte se encontró información limitada de trabajos enfocados a las purgas, lo cual puede entenderse como un terreno poco explorado y por lo tanto un área de oportunidad para este proyecto.

Gu, F., Guo, J., Zhang, W., Summers, P. A., & Hall, P. (2017) investigaron los problemas ambientales del ciclo de vida asociados con el reciclaje primario de residuos plásticos en China, concluyeron que las materias primas poliméricas recicladas son ambientalmente preferibles a los materiales no procesados y ya que la fabricación de productos con materiales vírgenes tiene cuatro veces más impacto ambiental negativo en comparación con la producción de materiales reciclados.

A continuación, se describen algunas opciones en el manejo de residuos para cada uno de los tipos de reciclaje y que en algún momento pudieran aplicarse en las purgas.

El tratamiento primario**:** Es el proceso de recuperación de desechos plásticos no contaminados para volverlo a convertir en materia prima con las características del producto original. Usualmente este material proviene de piezas completas o pedazos de ciertos plásticos claramente identificados. También se le conoce como reciclaje mecánico al incorporar procesos como corte y separación física. Este tipo de reciclaje es muy difícil de ejecutar cuando los productos de desecho están compuestos por mezclas de polímeros con diversas cargas o aditivos, que es el caso de las purgas, respecto a esto Zhao, Lv, & Ni,

(2018) presentan un análisis de separación a base de disolventes. En general la separación mediante extracción con solventes incluye la eliminación de impurezas y algunos aditivos plásticos, la disolución (disolución homogénea o heterogénea) y la re precipitación o desvolatilización se da cuando el (los) polímero (s) se disuelve (n) en el (los) disolvente (s), y luego cada polímero se cristaliza selectivamente. Idealmente, cuando es factible la disolución del polímero de interés o bien, todos los polímeros excepto el objetivo puede usarse la disolución selectiva. La clave de este proceso es encontrar un disolvente adecuado. Como ellos mencionan en realidad, muchos factores afectan la disolución del polímero, como el peso molecular, la composición, la estructura del polímero, la composición y el tipo del disolvente etc.

El reciclaje secundario consistente en la fusión de los desechos plásticos donde estos son convertidos en productos de diferentes formas comparados al original, lo que da un mayor espectro de aplicaciones, en un proceso evolutivo en cascada hacia prestaciones inferiores. El uso de desechos plásticos para la industria de la construcción es considerado como uno de los mejores métodos de este tipo de reciclaje. Vila-Cortavitarte, Lastra-González, Calzada-Pérez, & Indacoechea-Vega, (2018) exploraron los diversos beneficios que se obtuvieron a través de la sustitución del chapopote con poliestireno en la mezcla de asfalto. Una mezcla con un 1% de poliestireno mostró buenos resultados con propiedades mecánicas mejoradas. Los resultados mostraron que la sustitución del chapopote por poliestireno redujo el problema ambiental y contribuye a la evaluación del ciclo de vida. Un gran número de estudios reportados en los últimos años sobre el tema indican que el uso de agregados y fibras de plástico reciclado como material de construcción está ganando mucha atención.L. Gu & Ozbakkaloglu, (2016) realizaron una revisión crítica de los estudios del uso de plásticos en el concreto y encontraron que el uso de fibras plásticas recicladas pueden mejorar las propiedades de este. Los hallazgos de su revisión indican que su uso puede contribuir significativamente a una industria de la construcción más sostenible y recomiendan estudios futuros sobre los aspectos ambientales, como el comportamiento a largo plazo y/o las consecuencias ambientales del reciclaje de este tipo de concreto después de su ciclo de servicio. Chaukura, Gwenzi, Bunhu, Ruziwa, & Pumure (2016) concentran algunas propuestas de usos potenciales para residuos de plástico: la producción de productos industriales como pinturas, adhesivos, artefactos, muebles de jardín, materiales de construcción de bajo costo, productos para el tratamiento de aguas residuales, incluso el uso para el control de mosquitos en países donde enfermedades como la malaria y otras enfermedades transmitidas por estos aún prevalecen.

El reciclaje terciario o químico, busca el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del polímero por transformación del mismo en hidrocarburos, los cuales pueden ser materias primas integrables ya sea nuevamente en la ruta de obtención de polímeros o en otras rutas de la industria petroquímica. Los métodos pueden ser químicos y/o térmicos, dependiendo del tipo de polímero. A continuación, se describen algunos de estos procesos: Pirolisis. - Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío, este proceso genera Hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías. Hidrogenación. -En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas. Gasificación. -Los polímeros son calentados con aire o con oxígeno alcanzando las condiciones necesarias para la generación de monóxido de carbono e hidrógeno derivados del rompimiento de la cadena polimérica, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoniaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo. Químicos. -Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Consiste en la aplicación de procesos solvoliticos como hidrólisis, glicolisis o alcoholisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus Monómeros básicos para la producción de nuevos polímeros. En cuanto al reciclaje químico Ragaert, Delva, & Van Geem (2017) recopilan el estado del arte en técnicas como la quimólisis, pirolisis, craqueo catalítico de fluidos, técnicas de hidrógeno y gasificación, esta revisión analiza algunas técnicas potenciales para este tipo de reciclaje y sus principales desafíos. Para las purgas, además de lo anteriormente mencionado sería necesario determinar la rentabilidad de la implementación y control de alguno de estos procesos.

El reciclado cuaternario consiste en la incineración de desperdicios para generar energía, Thakur et al. (2018) mencionan que la generación de esta mediante el reciclaje de desechos plásticos es actualmente uno de los métodos más ecoeficientes debido al proceso en masa, y sigue casi todas las reglas estrictas de emisiones y requisitos de energía. Sin embargo, como señalan, muchos productos químicos peligrosos, como los gases y las dioxinas, pueden evolucionar a partir de la combustión incompleta de los desechos sólidos, lo que conduce a una grave contaminación del medio ambiente por dióxido de carbono, sustancias químicas tóxicas y cenizas nocivas. No hay mucha información respecto a los aspectos medioambientales que trae consigo la incineración de material proveniente de las purgas, en todo caso sería necesario caracterizar el material y estudiar sus emisiones. Por último, cabe mencionar que el depósito de los plásticos (incluyendo el de purgas) en los vertederos está siendo eliminado pues en lugar de ser una solución es un grave problema por su

reducida degradabilidad y los espacios tan grandes que ocupan. Una alternativa para este caso, es buscar la biodegradación mediante el tratamiento biológico, el uso de enzimas y organismos que puedan digerir el plástico, atrapar el carbono y devolverlo a la tierra como un recurso disponible; Vimala & Mathew (2016) Probaron el Bacillus subtilis, por su potencial en la utilización de polietileno como su única fuente de carbono. Encontraron que las especies microbianas produjeron compuestos tensoactivos (Biosurfactantes) que mejoran el proceso de degradación. El tratamiento previo de películas de polímeros con radiación ultravioleta ayuda a su accesibilidad como alimento para los microorganismos, lo que permite una tasa de biodegradación mucho más rápida. Restrepo-Flórez, Bassi, & Thompson (2014) en su estudio de la degradación microbiana y deterioro del polietileno presentan un resumen exhaustivo de los microorganismos que, acorde a algunos estudios participan en la biodegradación del polietileno. Nowak, Pajak, Drozd-Bratkowicz, & Rymarz (2011) así como Mohan, Sekhar, Bhaskar, & Nampoothiri (2016), presentan algunas propuestas de biodegradación de plásticos con diferentes tipos de microorganismos, logrando una reducción de peso de hasta el 23%.

Del análisis de la información es posible concluir que las purgas pueden ser tratadas mediante un tipo de reciclaje secundario o terciario. En el presente trabajo se busca la reducción de tamaño del material considerando el uso de energías limpias sin afectar la estructura del material incorporando técnicas alternas que permitan inferir posibles cambios en el material.

2.2 Fundamentos teóricos

2.2.1 Materiales

A continuación, se listan las principales características de los polímeros contenidos en mayor proporción en las purgas, estas, aunque corresponden a materiales vírgenes serán referencia para los análisis que se realizaran al material de estudio.

1.- Polímero Polipropileno (PP)

El polipropileno, PP, se produjo comercialmente por primera vez en 1958. Al igual que el PE se produce en cantidades muy grandes (más de 30 millones de toneladas por año en 2000), creciendo a razón del 10% anual. Al igual que la molécula de PE, su longitud de cadena y las ramas laterales, se pueden adaptar mediante catálisis inteligente, lo que proporciona un

control preciso de la resistencia al impacto, y de las propiedades relacionadas con el moldeado y la elasticidad. El PP en su forma pura es inflamable y se degrada con la luz solar. Los retardadores al fuego hacen que sea lento de quemar, y los estabilizadores le dan estabilidad extrema, tanto a la radiación UV como a las soluciones de agua dulce, salada y otras con base acuosa.

2.- Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS). El polímero ABS tiene el mayor volumen de producción de cualquier termoplástico de ingeniería, ofreciendo un gran equilibrio de propiedades por su precio. Son una combinación notable de tres ingredientes: estireno para bajo costo, procesabilidad y maquinabilidad y alto brillo; acrilonitrilo para resistencia térmica y química; y butadieno para mayor resistencia y rendimiento en un amplio rango de temperatura. ABS cierra la brecha entre los termoplásticos de ingeniería de mayor rendimiento, como el Policarbonato y materiales básicos, como Poliestireno. Presentan Alta resistencia al impacto (según los estándares de termoplásticos rígidos) que se mantiene a bajas temperaturas. La capacidad de distribución uniforme de color, es resistente al rayado y al desgaste, se procesa y se adhiere fácilmente, y se puede galvanizar, puede producir un buen brillo de la superficie, baja contracción y alabeo. Menor calor latente de fusión que el PP, lo que lleva a tiempos de enfriamiento durante el procesamiento más cortos. Excelente resistencia a ácidos, álcalis, sales y muchos solventes. Grados ignífugos (autoextinguibles) disponibles. Tienen una pobre resistencia a los rayos UV a menos que esté estabilizado o de otra manera protegido / recubierto, poca resistencia a los solventes no polares, susceptibles a fallas inesperadas de las piezas debido al agrietamiento por tensión ambiental (ESC), resistencia a la fatiga relativamente pobre. Temperatura de funcionamiento máxima relativamente baja de aprox. 75 ° C (170 ° F). Alta fricción y desgaste. Los grados transparentes solo están disponibles con el sacrificio de cierta tenacidad y tienden a tener un ligero tinte amarillo en comparación con otras formas de ABS (ver MABS). Al ser más higroscópico que el PS, se debe tener cuidado de secar el ABS antes de moldearlo o extruirlo. Se pueden desprender humos desagradables si la masa fundida se sobrecalienta a 250-260 ° C (480-500 ° F) y estos productos de descomposición volátil pueden afectar la calidad del moldeo, a menudo un problema mayor con los grados ignífugos. La baja contracción del moldeado permite una buena calidad de la superficie cuando se moldea por inyección. Alta producción de humo al quemarse. Los productos de degradación debidos a un procesamiento incorrecto son desagradables. Los grados ignífugos bromados producen productos de descomposición potencialmente tóxicos.

3.-Mezclas de ABS+POLICARBONATO(PC)

En general esta mezcla resulta en una mejora en algunas de sus propiedades que los polímeros individuales, presentan una mejor tenacidad a baja temperatura que la PC y mejor tenacidad a temperatura ambiente que el ABS. Mejor rigidez que el ABS y más fácil de procesar que el PC. Resistencia limitada al agua caliente y menor resistencia al impacto que el PC. Con el aumento del contenido de PC, la temperatura de distorsión térmica aumenta, la resistencia al impacto ambiental aumenta, pero la resistencia al impacto a baja temperatura disminuye.

4.-Nylon 6,6

Tiene alta resistencia a la abrasión. Menor resistencia al impacto. Poca resistencia a los rayos UV y en general tienen poca resistencia a la degradación oxidativa. El nylon 6,6 se usa cuando se requiere alta resistencia mecánica, rigidez, buena estabilidad al calor o resistencia química. Se utiliza en fibras para textiles y alfombras y piezas moldeadas

5.- Polioximetileno (POM / acetal) Este es uno de los termoplásticos de ingeniería clásicos. Es Muy cristalino. Resistente a la fluencia, excelente resistencia a la abrasión, relativamente fácil de procesar, bajo coeficiente de fricción, buena dureza de la superficie, buena resistencia a la fatiga. Buena resistencia a los disolventes (excepto fenoles). Buena resistencia al agrietamiento por estrés ambiental. Mayor temperatura de distorsión por calor de alta tensión que PA. Baja emisión de humo, alto brillo superficial, menor absorción de humedad que la PA. Bueno para componentes de ajuste a presión. Muy baja resistencia a los rayos UV (se puede estabilizar con negro de humo), lo que significa que las partes negras son necesarias en el exterior. Degradación catalizada por contacto con iones de zinc. Se descompone explosivamente si se procesa con halógenos. Emite algo de formaldehído (un irritante, toxina y carcinógeno) a temperaturas de procesamiento. Los componentes continúan emitiendo bajos niveles de formaldehído después de la fabricación. Su contacto con alimentos es posible.

En el anexo 1 se resumen algunas de las principales características y propiedades de los polímeros mencionados.

El plástico al ser un producto químico de una mezcla de sustancias, pueden presentar reacciones químicas, cuando se exponen al calor, la humedad y los rayos UV, lo que puede provocar que ocurra la degradación de los polímeros.

Dicha degradación puede generar varios efectos negativos en los productos elaborados con estos, como el cambio en aspectos visuales, (color amarillento, cambio de color o presencia

de manchas), aparición de grietas, cambio en las propiedades reológicas y mecánicas, aumentando la probabilidad de fallos en los materiales.

2.2.2 Procesos y Tecnologías (equipos, dispositivos o máquinas) analizados, para el logro de los objetivos

De acuerdo a los ensayos preliminares realizados sobre las purgas, la información del marco teórico y los objetivos planteados, una de las funciones del dispositivo para cambiar la forma de las purgas será el calentar la purga hasta reblandecerla, por lo que la información analizada es enfocada a las fuentes de energía sustentables.

Muchos de los procesos usados en la fabricación y/o transformación de los productos manufacturados requieren temperatura, como lo es el caso de este proyecto. La mayoría de estos procesos operan con suministro energético proveniente de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón). Debido a la gran demanda de estos, su reserva ha disminuido considerablemente, lo que ha hecho más difícil su obtención y por consecuencia sus costos han aumentado. La Agencia Internacional de Energía (IEA) en su reporte anual de tendencias considerando hasta el año 2035, publicó la demanda y los costos de los combustibles fósiles, la tendencia continua aumentando, llegando aproximadamente a requerir más de 100 mil millones de barriles de petróleo como se observa en la figura 4.

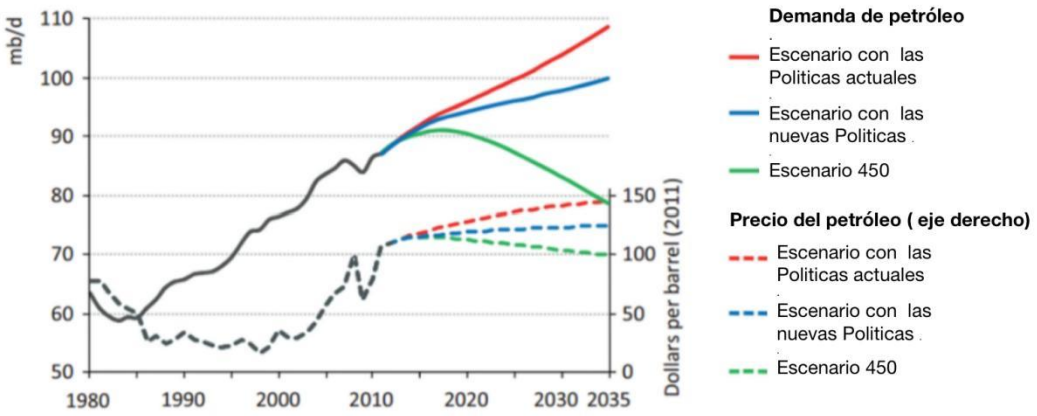


Figura 4 Demanda y precios históricos a nivel mundial de combustibles fósiles y escenario previsto para 2035. Fuente: (“WEO,” n.d.)

Adicional al problema de costos, el uso de combustibles fósiles está relacionado con problemas como la contaminación, la lluvia ácida, el calentamiento global entre otros (Pavlovic et al., 2017). La elevación de la temperatura del planeta y la concentración de gases provocan el llamado efecto invernadero. Entre los años 1971 y 2004, estas emisiones aumentaron en un promedio de 1.5% cada año como se puede apreciar en las figuras 5 y 6.

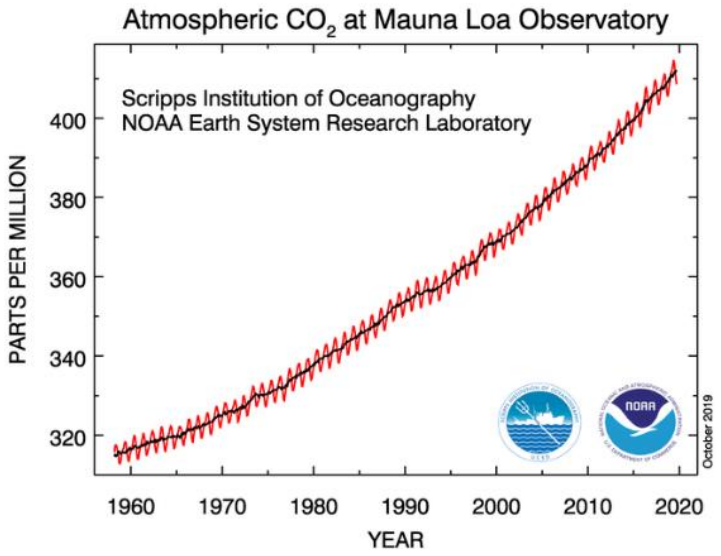


Figura 5 CO_2 en la atmosfera , fuente: ("Earth's CO2 Home Page," n.d.)

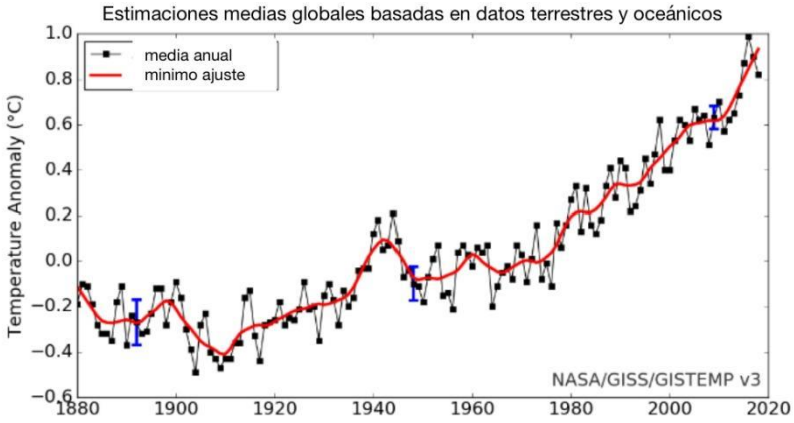


Figura 6 Temperatura de la tierra y el océano, fuente: ("Data.GISS: GISS Surface Temperature Analysis (v3): Analysis Graphs and Plots," n.d.)

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) declaro que el calentamiento global es el problema ambiental más crítico que existe. Por lo que se requiere adoptar un enfoque de eficiencia ecológica para evitar que las emisiones superen este desafío.(Ekholm et al., 2010). Por tanto, es obligatorio encontrar nuevas formas de producir la energía

demandada mediante el uso de fuentes renovables. Una de estas fuentes quizá, la más prometedora es la obtenida de la radiación solar, Ya que esta puede utilizarse directamente como calor térmico o convirtiéndola en electricidad.

2.2.2.1 Energía solar

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Las cantidades de radiación son expresadas generalmente en términos de exposición radiante o irradiancia, siendo esta última una medida del flujo de energía recibida por unidad de área en forma instantánea como energía/área-tiempo y cuya unidad es el Watt por metro cuadrado (W/m^2). La exposición radiante es la medida de la radiación solar, en la cual la radiación es integrada en el tiempo como energía/área y cuya unidad es el kWh/m^2 por día (si es integrada en el día) ó MJ/m^2 por día. Por ejemplo, 1 minuto de exposición radiante es una medida de la energía recibida por metro cuadrado sobre un periodo de un minuto. Sin embargo, un minuto de exposición radiante = irradiancia media (W/m^2) x 60 (s) y tiene unidades de Joule por metro cuadrado (J/m^2). Finalmente, una hora de exposición radiante es la suma de los 60 minutos de exposición radiante. Estas ondas electromagnéticas son de diferentes frecuencias y aproximadamente la mitad de las que se recibe están entre los rangos de longitud de onda de 0.4 μm y 0.7 μm, y pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que es conocido como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta. La radiación es diferente en cada país y se puede ubicar aquellos con mayor eficiencia térmica como lo podemos ver en la figura 7.

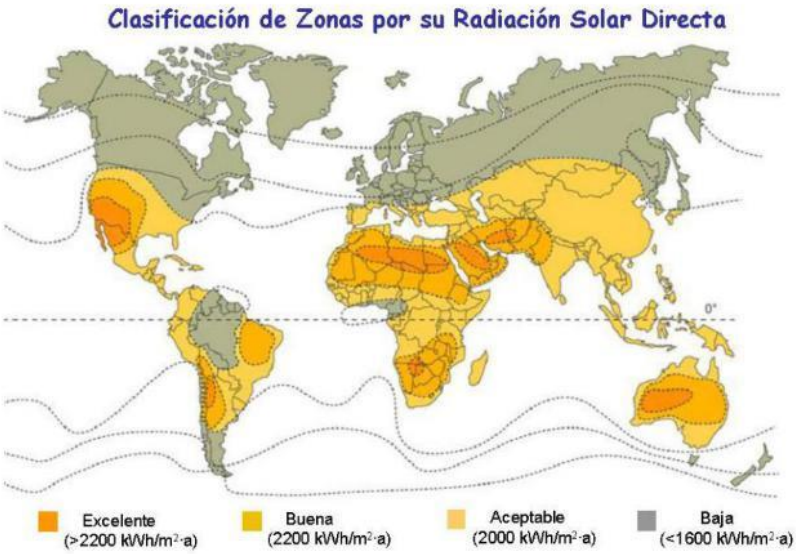


Figura 7 Mapa mundial de radiación solar. Fuente: (“Cambio climático y centrales termosolares,” n.d.)

La cantidad de radiación que se tiene en México, donde el promedio anual va de los 4.4 kWh/m^2 por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m^2 por día en el norte del país. Lo cual representa una gran ventaja en la búsqueda de este tipo de fuente de energía. La figura 8 muestra como se distribuye.



Figura 8 Mapa de Irradiación Solar, México, kWh/m2 al día. Fuente: (“REVISTA COFEPRIS | Protección y salud,” n.d.)

Utilizando el software de la NASA para evaluar el recurso solar en la Ciudad de Querétaro se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 9.

Radiación incidente máxima sobre una superficie inclinada (kWh/m^2/dia)

Lat 20.5° Lon 100.4°	Ene	Feb	Mzo	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Promedio de 22 años	4.72	5.51	5.92	6.11	5.48	4.50	4.05	4.04	4.38	4.33	4.19	4.17	4.77

Figura 9 Radiación incidente en Querétaro. Fuente:(https://www.nasa.gov)

La siguiente información fue obtenida mediante el software de gestión de energías limpias RETScreen, que es un paquete de programas desarrollado por el Gobierno de Canadá. El software permite la identificación exhaustiva, la evaluación y la optimización de la viabilidad técnica y financiera de proyectos potenciales de energía renovable y de eficiencia energética. Figura 10 y 11.

	Unit	Climate data location	Facility location	Source
Latitude		32.7	32.5	
Longitude		-114.6	-115.1	
Climate zone		1B - Very hot - Dry		Ground+NASA
Elevation	m	65	16	Ground – Map
Heating design temperature	°C	7.0		Ground
Cooling design temperature	°C	42.6		Ground
Earth temperature amplitude	°C	27.2		NASA

Month	Air temperature	Relative humidity	Precipitation	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days 18 °C	Cooling degree-days 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m^2/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	14.4	40.6%	13.95	3.27	100.3	2.8	11.2	112	136
February	16.5	38.7%	12.88	4.07	100.1	2.7	13.7	42	182
March	19.5	35.5%	8.68	5.49	99.9	3.0	17.9	0	295
April	23.0	29.6%	3.90	6.67	99.6	3.2	22.5	0	390
May	27.4	27.4%	1.24	7.51	99.4	3.2	28.0	0	539
June	31.7	26.1%	0.60	7.84	99.3	3.2	33.1	0	651
July	34.4	34.4%	11.16	7.26	99.3	3.5	36.5	0	756
August	34.2	39.9%	13.33	6.57	99.4	3.3	36.1	0	750
September	31.5	37.3%	12.00	5.83	99.4	2.7	32.1	0	645
October	25.4	36.3%	6.82	4.81	99.7	2.5	24.2	0	477
November	18.3	36.9%	8.10	3.60	100.0	2.6	16.3	0	249
December	13.8	41.2%	12.40	3.01	100.2	2.8	10.6	130	118
Annual	**24.2**	**35.3%**	**105.06**	**5.50**	**99.7**	**3.0**	**23.6**	**284**	**5,189**
Source	Ground	Ground	NASA	Ground	NASA	Ground	NASA	Ground	Ground
Measured at					m	10	0		

Figura 10 Variables atmosféricas en Querétaro. Fuente: RETScreen® Clean Energy Management Software platform enables low-carbon planning, implementation, monitoring and reporting

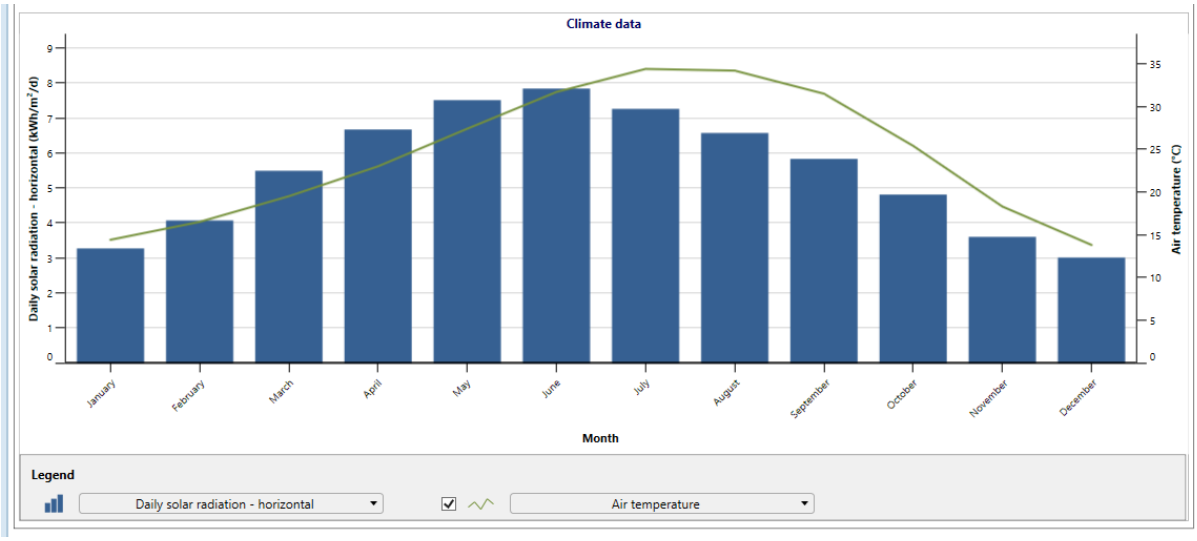


Figura 11 Radiación promedio mensual en Querétaro. Fuente: RETScreen® Clean Energy Management Software platform enables low-carbon planning, implementation, monitoring and reporting

Se puede observar que Querétaro es de las zonas con mejor potencia de radiación solar con un promedio anual de 4.77 kwh/m^2/día. Para una mejor captación de energía es necesario realizar una adecuada orientación del colector solar de acuerdo al movimiento aparente del sol, se busca que la mayor parte del tiempo el sistema de colección reciba los rayos solares en forma perpendicular. Cuando no se cuente con dispositivos de seguimiento solar, se deberá escoger una posición fija que permita al captador obtener el máximo posible de energía.

2.2.2.2 Colectores solares

La energía solar térmica es la conversión de la radiación solar en calor. Cuando una superficie oscura se coloca al sol, absorbe energía solar y se calienta. Los colectores de energía solar más sencillos funcionan según este principio y consisten en una superficie orientada al sol que transfiere parte de la energía que absorbe a un fluido de trabajo en contacto con ella. (“Thermal Conversion - Wikid Energy Funhouse - Ulowa Wiki,” n.d.). Dicho de otra forma, los llamados colectores o captadores solares son dispositivos diseñados para recoger la energía solar y convertirla en energía térmica.Ver figura 12.

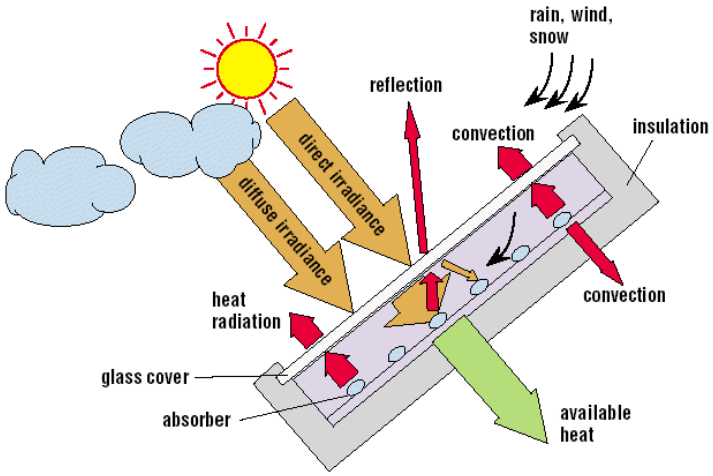


Figura 12 Colector solar simple. Fuente: ("Thermal Conversion - Wikid Energy Funhouse - Ulowa Wiki," n.d.)

Estos tienen infinidad de aplicaciones, tanto en usos domésticos como industriales. Comúnmente en los primeros su aplicación es en sistemas de calefacción y para calentar agua de regaderas y albercas. Para entornos industriales el uso que más se le ha dado es para generar energía eléctrica a través de turbinas movidas por vapor de agua. Aunque cada vez más se están usando en procesos que requieren calentamiento.

Para la implementación de energía solar térmica, el colector solar es un componente principal, y este componente consume las irradiaciones solares y lo transmuta en calor, que luego se transfiere al fluido de trabajo (puede ser aire o agua). La energía calorífica así recogida, será ejecutada por el fluido de trabajo y puede utilizarse directamente para alimentar el agua o cualquier equipo de calefacción / refrigeración de espacios o puede almacenarse en el contenedor de energía térmica, y puede utilizarse por la noche o días nublados. (Tian & Zhao, 2013)

Como se explicó anteriormente, el funcionamiento de un captador de energía solar es muy sencillo, pero su capacidad y eficiencia depende del tipo de colector y de los materiales de los que esté construido. Otros factores que afectan su eficiencia es la diferencia de temperaturas exteriores a la caja del colector, es decir si la temperatura ambiente que rodea al colector es muy baja la perdida de energía será mayor. Sin embargo, el diseño de los colectores se ha ido modificando a fin de obtener el mayor rendimiento y este varía acorde a los rangos de temperatura que se desean obtener.

Los procesos Industriales que requieren calor y pueden usar esta tecnología se muestran en la tabla 1 están clasificados por tipo de Industria e incluye un rango de temperaturas a las que operan. El calentamiento del proceso puede realizarse de forma directa o indirecta.

Sin embargo, cabe aclarar que la implementación no se ha hecho en todos estos procesos y que el desafío está en integrar la tecnología del colector con la del proceso. Siempre con una visión de optimizar todos los recursos.

Tabla 1 Temperaturas requeridas por tipo de proceso. fuente: (Sharma, Sharma, Mullick, & Kandpal, 2017)

Tipo de Industria	Proceso	Rango de temperatura usada °C
Materiales de construcción	Calcinacion	600-1200
Acero	Endurecimiento recocido templado forjado laminado	700-1500
Fabricación de productos de plástico,cuero y vidrio.	Pre-calentamiento general	40-60
	Cromado	60-80
	Secado	50-130
	Destilación	140-150
	Extrusión	140-160
	Laminado	100-180
Química	Destilación	100-200
	Evaporación	110-170
	Secado	120-170
	Espesamiento	130-140

Tipo de Industria	Proceso	Rango de temperatura usada °C
Textil	Blanqueado	60-90
	secado	100-130
	desengrasado	120-140
	Impresión	40-130
Alimentaria	Cocimiento	70-120
	Pasteurización	60-150
	Esterilización	100-140
	Secado	40-100
	Deshidratación	40-100
	Limpieza	40-80
	Tratamiento térmico	60-80
Automotriz-pintura	Prepintado	40-50
	Horneado	175-225
	secado	150-175

2.2.2.2.1 Tipos de Colectores solares

Como primera división en la clasificación de los colectores solares es el tipo de energía a generar (eléctrica y térmica). Cabe aclarar que, existe un tercer tipo híbrido compuesto de las dos primeras, este tipo no se abordara en este documento. Los colectores solares térmicos se clasifican comúnmente en dos tipos: a.-con concentrador y b.-sin concentrador. El colector sin concentrador tiene una zona de interceptación y absorción similar, mientras que los colectores concentradores tienen exteriores cóncavos reflectores para capturar y enfocar la radiación solar en un área de recolección reducida, lo que resulta en un aumento del flujo de radiación / calor. (Islam,et al 2016), (Nasrin, Hasanuzzaman, & Rahim, 2018). Ver figura 13. Más adelante se estará describiendo cómo funciona cada uno de estos.

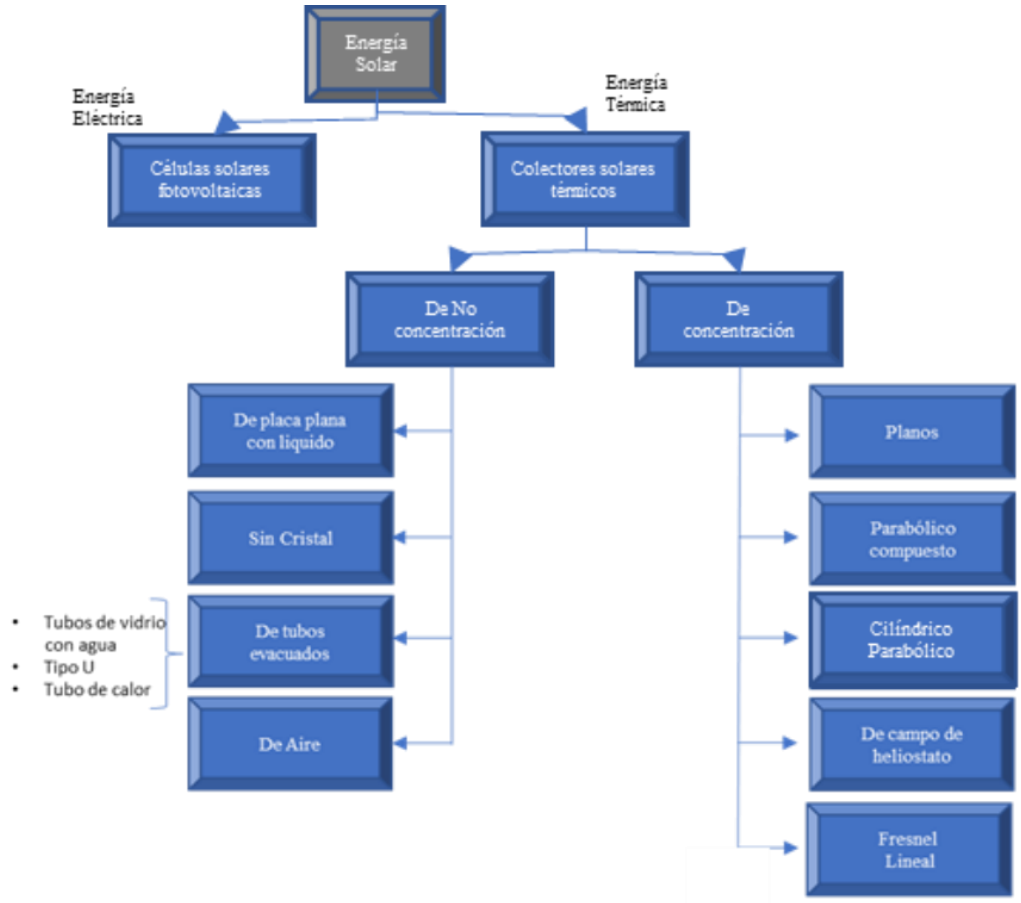


Figura 13 Clasificación de las tecnologías de energía solar. Fuente: (Islam et al., 2016) (Nasrin et al., 2018)

Los términos Colector y Concentrador frecuentemente se usan indistintamente en cuando a la captación de la radiación solar, por ello es necesario aclarar la diferencia entre estos:

Un colector o captador solar es el dispositivo diseñado para recibir la energía irradiada por el Sol y convertirla en energía calorífica, sin tener necesariamente un dispositivo de concentración (sistema óptico), estos últimos con el fin de producir mayor temperatura. En otras palabras, los colectores de no concentración no cuentan con dispositivos adicionales para potencializar la recepción y conversión de la radiación solar.

Este tipo de colectores generan temperaturas entre 50 y 70 grados centígrados, son utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción de aire o agua también se usan en actividades industriales en las que el calor del proceso no requiere de temperaturas mayores. Para minimizar las pérdidas de calor y maximizar la eficiencia del sistema, la mayoría de este tipo de colectores tienen una carcasa con la que reducen las pérdidas de energía aislando del medio ambiente tanto el absorbedor y el circuito del flujo

de transferencia de calor, además de proteger estos elementos de la degradación. (Creus Solé, 2010) (Kumar, Hasanuzzaman, & Rahim, 2019) (Zhao et al., 2018) Su colocación implica una posición específica para ampliar la captación solar, la cual usualmente se logra mediante ángulos de inclinación y orientación que dependen de la latitud geográfica. (Suman, Khan, & Pathak, 2015). Las aplicaciones de baja temperatura, es decir, menores a 100°C, están relacionadas con tecnología de colectores planos, sin cristal (no cubiertos) tubos evacuados y de aire empleados principalmente para el calentamiento de agua sanitaria y de agua de albercas.

Las aplicaciones de temperatura media (entre 100°C y 400°C), utilizan tecnologías de tubos evacuados, que alcanzan hasta 120°C de temperatura y de concentradores solares para uso principalmente industrial, enfriamiento y calefacción de espacios.

Las aplicaciones de alta temperatura (mayores a 400°C) utilizan espejos para concentrar la energía y lograr temperaturas suficientes altas para la generación de electricidad y algunos procesos industriales. (Restrepo-Flórez et al., 2014)(Creus Solé, 2010).

Colectores de concentración, como se describió anteriormente cuentan con un sistema óptico que concentra las radiaciones incidentes en un área de recolección más pequeña. Esta disposición reduce las pérdidas de calor y como resultado se obtienen temperaturas más altas. En otras palabras, los concentradores centralizan la luz del sol desde una gran área de apertura a un área reducida (reflejándola o retractándola) mediante el uso de espejos o lentes. El receptor puede ser plano, convexo, cóncavo o cilíndrico y puede ser con cubierta de cristal o sin cubierta. En este tipo de colectores la colocación del sistema óptico es muy importante debido al movimiento del sol durante el día.

Se pueden encontrar en los numerosos estudios sobre la concentración solar, distintas definiciones de factor de concentración, aunque la más habitual es la de factor de concentración superficial, es decir, la razón entre el área de la apertura del concentrador (A0) respecto al área del receptor (En, M.,En, C., & Renovables, 2012) .Como se expresa en la ecuación 1.

$$(\mathrm{AR}):\mathrm{C} = \mathrm{A0}/\mathrm{AR} \qquad \text{Ec 1}$$

Estos pueden producir temperaturas mayores a 100°C, lo cual tiene diversas aplicaciones que van desde el calentamiento de líquidos en procesos industriales, como por ejemplo la pasteurización, teñido de fibras, industria alimentaria, entre otros, hasta la generación de electricidad. La clasificación de estos se describe con mayor detalle en los siguientes puntos:

Planos, son los colectores de concentrador más simples, caracterizados por placas reflectantes conectadas con la superficie frontal del colector. La radiación solar golpea las alas reflectoras colocadas alrededor del panel, de esta forma el colector puede usar la radiación solar reflejada junto con la radiación del haz recibida por la pantalla transparente. Se muestra un ejemplo de estos en la figura 14.

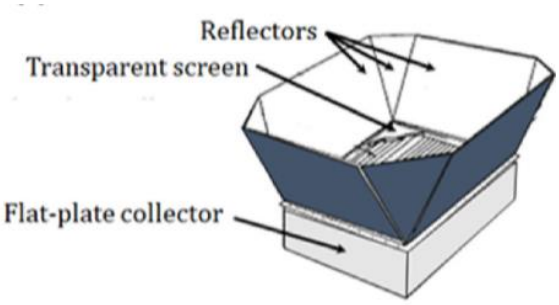


Figura 14 Representaciones de la técnica de colector de concentrador plano. Fuente: (En et al., 2012)

Parabólico compuesto, en este tipo de concentradores se instala debajo de cada tubo del colector, una lámina hecha de material reflector de forma parabólica. Se muestra un ejemplo de estos en la figura 15.

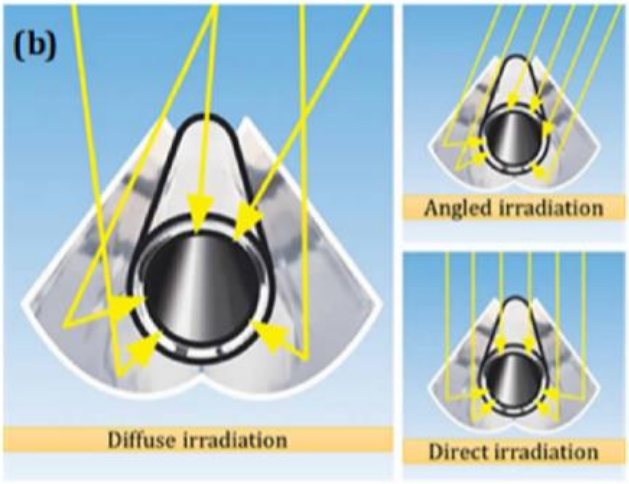


Figura 15 Representaciones del colector de concentrador parabólico compuesto. Fuente (Evangelisti et al., 2019)

Cilíndrico Parabólico, se denominan parabólicos porque se hacen retorciendo el material reflector en forma de parábola, este consiste de múltiples filas en paralelo de espejos curvos en una dirección que enfoca los rayos del sol. Los tubos absorbedores, los cuales son tuberías de acero inoxidable con un recubrimiento selectivo, funcionan como recolectores de calor. El revestimiento está diseñado para permitir que la tubería absorba altos niveles de irradiación solar, estos son encapsulados en una envoltura de vidrio evacuado. Los reflectores y los tubos absorbedores se mueven en conjunto dando seguimiento a la irradiación directa del sol. Pueden alcanzar temperaturas arriba de hasta 400 °. Se muestra un ejemplo de estos en la figura 16.

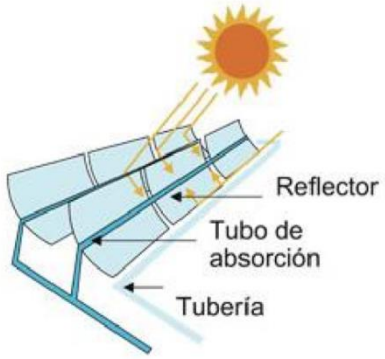


Figura 16 Canales parabólicos. Fuente: (“WEO,” n.d.).

De campo Heliostato, también conocido como tecnología de torre solar, este utiliza cientos de miles de pequeños reflectores llamados heliostatos para concentrar los rayos del sol en un receptor central puesto a lo alto de una torre fija. La energía concentrada en la torre logra alcanzar temperaturas muy altas, lo que incrementa la eficiencia con la cual el calor es convertido en electricidad y reduce los costos del almacenamiento térmico. El concepto de torre solar es muy flexible ya que se puede diseñar utilizando una amplia variedad de heliostatos, receptores, fluidos de transferencia. Algunas plantas comerciales en operación realizan la generación directa de vapor en el receptor y otras utilizan sales diluidas como fluido de transferencia de calor y como medio de almacenamiento. Estos pueden ser operados para producir temperaturas muy altas que oscilan hasta 2000 ° C (Barlev, Vidu, & Stroeve, 2011). Se muestra un ejemplo de estos en la figura 17.

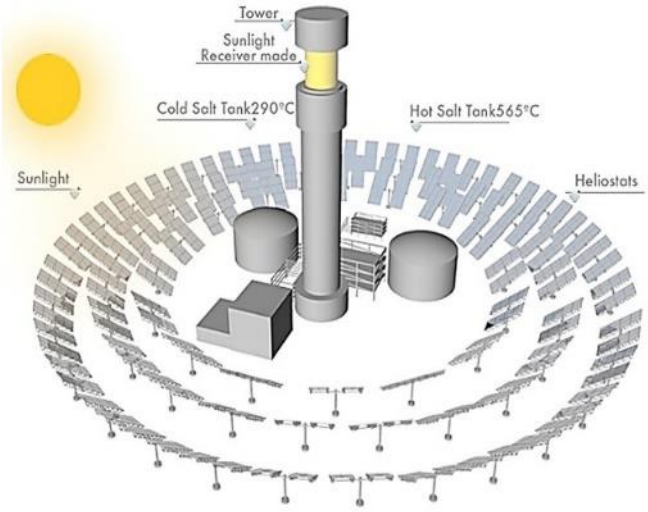


Figura 17 Reflector de campo de helióstatos (Imtiaz Hussain, Ménézo, & Kim, 2018)

Fresnel Lineal, estos utilizan un conjunto de reflectores primarios planos o casi planos y un conjunto receptor fijo que incluye uno o más tubos receptores lineales y un reflector secundario opcional.

Generalmente incluyen una serie de paneles, por lo que su diseño puede diferir en términos de las dimensiones individuales de cada espejo y la disposición general. Además, la naturaleza fija del conjunto del receptor proporciona una libertad de diseño considerable. (En et al., 2012) (Zhu, et al 2014). El reflector solar lineal de Fresnel (LFR) es una tecnología de concentración prometedora, que presenta importantes ventajas como el bajo costo de inversión, la reducción de las cargas de viento y el factor de utilización de la tierra relativamente bajo. (Bellos & Tzivanidis, 2018). Se muestra un ejemplo de estos en la figura 18.

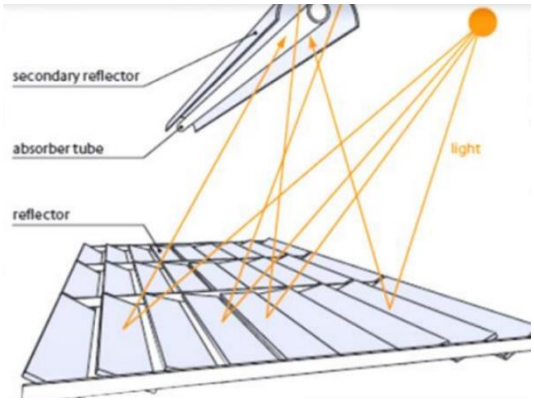


Figura 18 Fresnel lineal, trayectoria de rayos solares. Fuente: (Bellos & Tzivanidis, 2018)

Lente Fresnel, está formada por prismas concéntricos modelados en un sustrato (están disponibles comercialmente algunas hechas de materiales de polimetilmetacrilato (PMMA) o de silicona-vidrio (SOG)). Su función es hacer que los rayos de luz se comporten, al atravesarlas, como cuando atraviesan lentes plano convexas. Los rayos de luz que llegan paralelos al eje óptico tienden a concentrarse en un punto o foco (se focalizan). Los rayos que salen del foco atraviesan la lente y salen paralelos al eje óptico en un tubo de luz, es decir, colimados. (Wang, Aichmayer, Laumert, & Fransson, 2014) A pesar de que los concentradores Fresnel tienen la ventaja de ser ligeros, bajos costos de operación y casi nulo mantenimiento, su eficiencia se ve afectada por este aspecto, (Kumar, Hasanuzzaman, & Rahim, 2019) la forma en que los diseñadores lo han superado es mediante el uso tecnologías de seguimiento solar, lo cual en este proyecto se traduce en buscar una manera fácil de mover el angulo del lente con respecto a la orientación solar; También se puede considerar un movimiento en ambos sentidos del lente para no limitar la ubicación del dispositivo.

La relación de concentración efectiva en una lente Fresnel se expresa en la ecuación 2:

$$X = A/\pi\, rspot^2 = rin^2/rspot^2 \qquad \text{Ec 2}$$

donde A es el área de la lente Fresnel, rin es su radio y rspot es el radio del punto proyectado (focalizado) en la superficie del receptor. La relación de concentración puede modificarse a través del radio del punto proyectado. Luego, seleccionando un tamaño adecuado, puede

estimar la cantidad de energía solar que se concentra en el receptor (Victoria M et al 2016). En resumen, este parámetro modifica la potencia calorífica.

Otro dato relevante es que, al paso por la atmósfera, la radiación solar se atenúa debido a procesos de absorción y difusión que producen los gases y partículas de la atmósfera y las nubes, por lo que la radiación incidente en el suelo depende mucho del lugar, la hora del día, época del año y estado del cielo. Una parte proviene directamente del disco solar (radiación directa) y otra proviene del cielo y las nubes (Radiación difusa). Para cielos despejados, la radiación directa predomina en las horas centrales del día, y varía con el coseno del ángulo cenital del sol (ley de coseno). Cuando el sol está oculto por las nubes o en los crepúsculos, casi toda la radiación es difusa. (Departamento de Astronomía y Meteorología Universidad de Barcelona). Considerando entonces un mejor horario para realizar cualquier tipo pruebas de absorción de energía solar entre las 11 y las 16 horas.

Los concentradores con lente Fresnel son de tipo refractivo que se coloca entre la fuente de luz y el objetivo ofreciendo ventajas por sobre otros colectores solares debido al costo, facilidad de manejo y requerimiento de espacio reducidos. Estos permiten concentrar la radiación solar y mediante el control de las variables relacionadas al foco de la radiación se pueden alcanzar temperaturas por arriba de 600°C, temperatura adecuada para varios procesos industriales. Es necesario realizar trabajos de investigación enfocados al uso adecuado de esta cantidad de radiación con el fin de lograr el calentamiento de procesos industriales a un menor costo. Se muestra un ejemplo de estos en la figura 19.



Figura 19 Lente Fresnel

2.2.2.3 Fluidos de transferencia de calor empleados en los colectores solares.

Como se explicó en la sección anterior, los colectores solares utilizan un fluido como caloportador usado para transferir energía térmica. Dependiendo de los requerimientos este puede ser la misma agua del consumo o bien algún otro que facilite la transferencia de calor requerido en los procesos en tales casos su función general es la de aumentar la eficiencia del colector.

Estos deben poseer unas características específicas para poder usarse, entre otras son:

a.-Poseer buenas propiedades de transferencia de calor

b.-Tener una buena estabilidad térmica que permita largos periodos de servicio con una funcionalidad estable

c.-Baja temperatura de solidificación que permita paradas prolongadas seguras

d.-Baja corrosión a los elementos que formen parte del sistema

e.-Baja toxicidad y ser respetuoso con el medio ambiente, facilitando de esta manera la eliminación al cumplir su ciclo de trabajo.

f.-Costos moderados tanto de adquisición como de mantenimiento

Y por supuesto debe ser el idóneo técnicamente para satisfacer la temperatura de servicio requerida. (“Sistemas de fluido térmico: la guía completa | Pirobloc,” n.d.).

A continuación se describen 3 estudios recientes alrededor del uso de nanofluidos como una opción que esta ganado mucha importancia para diversas aplicaciones de ingeniería , incluidos los colectores solares (Han, Meng, Wu, Zhang, & Zhu, 2011) (Taylor, Phelan, Otanicar, Adrian, & Prasher, 2011). Con el uso de nanofluidos, los investigadores han informado un aumento en la eficiencia general del colector (Javadi, Saidur, & Kamalisarvestani, 2013) (“An experimental investigation on the effect of Al2O3–H2O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors,” n.d.). (Muraleedharan, Singh, Suresh, & Udayakumar, n.d.) Las propiedades termofísicas mejoradas de los nanofluidos en comparación con los fluidos base son la razón de este aumento. La adición de nanopartículas en los fluidos de transferencia de calor cambia las propiedades del fluido base de transferencia de calor convencionales.

1. - Nanofluidos en concentradores tipo Fresnel. Una aplicación especifica en concentradores tipo Fresnel fue evaluada en el artículo la referencia (Suman et al., 2015) obteniéndose las siguientes conclusiones en dicho estudio: (aplicado analiza en un pequeño colector lineal de Fresnel para estudiar). Los fluidos de trabajo utilizados fueron, agua destilada (DW), nanofluidos en agua destilada al 0.05%, al 0.1% y al 0.3%. La conductividad

térmica de los nano fluidos aumentó en un 3%, 6% y 7% para las fracciones de volumen de 0.05%, 0.1% y 0.3% a 25 ° C, respectivamente en comparación con el agua destilada. La conductividad térmica también aumentó con el aumento de la temperatura (es decir, 11% para una fracción de volumen de 0.3% a 70 ° C). La densidad y la viscosidad aumentaron con una fracción de volumen mayor y se redujeron con el aumento de la temperatura. Se concluyo que las nanopartículas mejoraron la eficiencia térmica. Sin embargo, las investigaciones experimentales siguen siendo importantes para validar esta conclusión y determinar los desafíos prácticos del uso de nanopartículas.

2.- Nano-fluido Al_2O_3 Therminol-55 para su uso en colectores solares (Muraleedharan, Singh, Udayakumar, & Suresh, 2019). Este artículo informa sobre el diseño y la construcción de un sistema de destilación solar activo modificado consistente de un concentrador de lente Fresnel con un tubo receptor evacuado y un intercambiador de calor de tipo serpentina (MSDS). El nanofluido Al_2O_3 – Therminol-55 (nHTF) se utiliza como fluido de transferencia de calor. Se realiza una comparación de sus parámetros de rendimiento con el de un sistema solar convencional (CSS). Los resultados experimentales indican que el rendimiento por hora de MSDS con 0.1% nHTF es 45-250.27% más que CSS.

3.- Nano-fluido a base de carbono (Borode, Ahmed, & Olubambi, 2019) . Los nanomateriales de carbono han sido considerados como los más prometedores para preparar nanofluidos y aplicaciones de transferencia de calor. Esto se debe a que estos poseen notables propiedades termofísicas. Estas propiedades contribuyen a una mejora notable en las propiedades del fluido de trabajo y, en consecuencia, mejoran el rendimiento de los colectores solares. El estudio de referencia mostró que los nano fluidos a base de carbono con una baja concentración de aproximadamente 0.3% en volumen mejoraron la eficiencia del colector de placa plana, tubo evacuado, cilindro parabólico y colector solar fotovoltaico híbrido térmico hasta 95.12%, 93.43%, 74.7% y 97,3% respectivamente. Además, el colector solar de absorción directa que utiliza nano fluido a base de carbono con una baja concentración de al menos 0.01% en volumen logró una eficiencia fototérmica de hasta 122.7% dicho estudio llego a las siguientes conclusiones:

i)La conductividad térmica del fluido de trabajo se mejora con la incorporación de nanomateriales, lo que mejora la tasa de transferencia de calor y la absorción de energía solar. Esta mejora se atribuye a la intensificación del movimiento browniano que causa efectos de turbulencia debido al movimiento errático de las partículas, lo que mejora la transferencia de calor.

ii) La viscosidad del fluido de trabajo aumenta con la adición de nanomateriales. Esto crea un gran desafío para la incorporación de nanofluido en colectores solares.
iii) La minimización de la generación de entropía se logró con la utilización de nanofluidos a base de carbono. Por lo tanto, la producción de energía se maximiza.

2.2.2.4 Hornos de aire caliente

Los hornos de aire caliente se usan en diferentes tipos de industria, su funcionamiento es relativamente sencillo, los principales componentes de las zonas calefactoras incluyen;

A. Una fuente de calor, la cual en los modelos conocidos es un quemador eléctrico o bien por medio de fuego directo o indirecto que calienta el aire

B. Un ventilador que transfiere este aire caliente sobre la superficie del producto. Por supuesto hay varios aspectos que inciden en la eficiencia de estos, entre otros; la geometría y tamaño del horno, los materiales, la velocidad del aire y las temperaturas que se buscan alcanzar. (Yi, Salonitis, Tsoutsanis, Litos, & Patsavelas, 2017).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

El desarrollo de este capítulo en general se divide en tres etapas;

3.1 Caracterización de las purgas

Definición detallada del proyecto, esta etapa se desarrolla en la empresa Reciclajes Victoria y es muy importante la participación del personal que administra y conoce las necesidades de la organización, en esta etapa se determina la verdadera necesidad de la empresa y se delimita el alcance de la propuesta. A la par de la información proporcionada por la empresa esta es reforzada con la investigación del estado del arte, pruebas de caracterización de los materiales y el análisis de riesgos del proyecto realizado mediante la técnica PESTEL.

3.2 Definición conceptual y operacional de las variables usadas en el estudio

Pruebas, análisis de información y diseño preliminar, esta etapa se desarrolla básicamente en 3 lugares, Reciclajes victoria (recopilación de muestras, actualización de información), Laboratorios de Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Querétaro, (Pruebas y análisis de información) y CIDETEQ , (Pruebas y análisis de información). Durante esta etapa se trabaja principalmente en el diseño del (los) procesos.

3.3 Modelación

Construcción del diseño final de los dispositivos y procesos para el logro de los objetivos, en esta etapa se trabaja en la construcción, pruebas de confirmación y comparación de las características principales de las purgas antes y después de los cambios realizados.

Se realiza una matriz de consistencia del proyecto, con esta nos aseguramos la pertinencia de la metodología aplicada en el logro de cada objetivo, ver figura 20.

TITULO: "DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA PROCESAR PURGAS DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS"
Objetivo general: Diseñar y fabricar un dispositivo-proceso que permita la reintegración de las purgas de inyección de plásticos a la cadena de reciclaje.

OBJETIVOS	MARCO TEORICO	METODOLOGÍA
1.- Identificar y clasificar los diferentes tipos de purgas con base a composición, fuente de generación y posible tratamiento de reciclaje.	.-Riesgos para el proyecto .-Descripción de los componentes de las purgas .-Como se trabajan las purgas .-Como se reciclan o que se hace con estas	a) Se separan las purgas en base a los criterios determinados por la empresa.
		b) Se seleccionan, identifican y recolectan los 5 principales tipos
		c) Información del comportamiento de los compuestos de las purgas seleccionadas
2.- Caracterizar las purgas más representativas mediante: Prueba de ensayo a la flama, Dureza, TGA , FTIR, ángulo de contacto, RFDA y comportamiento al calentamiento.	.-Desarrollo de pruebas para caracterizar materiales poliméricos; como se realizan, que tipo de información proporcionan, como se preparan las muestras etc.	A) Prueba de ensayo a la flama.- Prueba de 6 pasos
		B) Prueba de Dureza de acuerdo al método indicado en la norma ISO 868
		C) TGA.- De acuerdo al método indicado en la norma Iso-11358 Plastics – Thermogravimetry (TG) of Polymers
		D) FTIR.- Equipo FTIR marca Bruker Tensor 37, utilizando un ATR, en modo transmitancia con 32 scans y una resolución de 1 cm-1. Sin preparación adicional a la muestra.
		E) Angulo de contacto.- Acorde al metodo del equipo Krüss modelo Drop Shape DSA30
		F) RFDA.- De acuerdo al método indicado en las normas; ASTM E1876-15, ISO 12680-1, EN 843-2
		G) Comportamiento al calentamiento. A.- calentamiento en mufla B.- calentamiento con radiación solar concentrada a través de lente Fresnel
3 y 4- Diseño y manufactura del prototipo considerando el uso de energías renovables.	.- Que equipos o alternativas hay en el mercado: Fuentes de energía renovables factibles .-Que aspectos de diseño se deben tomar en cuenta en este tipo de dispositivos .-Factores de riesgo en el diseño y como se pueden manejar	Definición de variables de salida principales
		Mapa de procesos
		Diagrama de Bloques funcionales
		QFD
		AMEF de diseño
		Plasmar diseño final en solidworks
		De ser necesario realizar análisis de elemento finito mediante ansys
5.- Determinar la variación en las propiedades (generar intervalos de valores en propiedades).		Prueba de Dureza de acuerdo al método indicado en la norma ISO 868
		F) RFDA.- De acuerdo al método indicado en las normas; ASTM E1876-15, ISO 12680-1, EN 843-2

Figura 20 Matriz de consistencia del proyecto

Se seleccionan cinco de las purgas de mayor frecuencia en la empresa reciclajes Victoria. Estas son caracterizadas a través de las pruebas de: Prueba de ensayo a la flama, Dureza, Análisis termogravimétrico (*Thermo Gravimetric Analisys* TGA), FTIR (Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier), ángulo de contacto y RFDA (*resonance frequencies damping absorption*), en esta última se miden las frecuencias de resonancia y la fricción o amortiguación interna y con estas se calcula el módulo de Young, se realiza una evaluación del comportamiento de las purgas al calentarlas hasta su reblandecimiento.

Prueba de ensayo a la flama. - Esta prueba se realiza con el fin de conocer el comportamiento general del material al aplicarle calor. Es una prueba sencilla y rápida en la identificación del material con el que se está trabajando. Se debe considerar que existen mezclas de polímeros que pueden modificar la respuesta a la flama observada en la parte de los resultados. No existe una norma como referencia, pero si una descripción de 6 pasos recomendados para su realización. Ver figura 21.

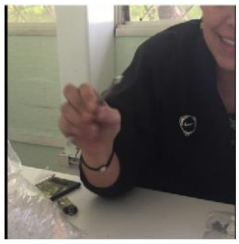
1.- Tomar una pequeña muestra del plástico a estudiar	2.- Prender fuego al extremo de la muestra y observar las características de la combustión	3.- Identificar el color de la llama,el color del extremo en combustión. ¿Sigue ardiendo la muestra al retirarla de la llama?, hay cambios en ella?
		
4.- Apagar la llama y observar el humo generado: cantidad, color y olor	5.- Observar el extremo fundido. ¿Se carboniza, gotea, se forman hilos, aparecen burbujas?	6.- Identificar las características de la combustión del plástico en la tabla y del posible polímero del que se trata
		

Figura 21 Pasos en la realización de la prueba de ensayo a la flama en plásticos

La tabla de referencia que se menciona en el paso 6 se encuentra en el Anexo 1A

Dureza.- Esta Prueba se realiza para conocer la dureza del material antes de ejecutar algún proceso y ver el impacto en esta característica después de cualquier cambio que se realice en el material. La evaluación de la dureza se realiza de acuerdo al método indicado en la norma ISO 868, con un durómetro shore D caratula TT 0.90HD 0.25 mm portable, la medida se toma a los 5 segundos y el resultado se expresa como “dureza Shore”. Ver figura 22. Se realizaron 30 mediciones de dureza en diferentes zonas de la purga, antes y después de reblandecer el material, para evaluar si existe diferencia estadística se aplica la prueba "t" de Student con un nivel de confianza del 95% y un planteamiento de hipótesis:

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Se considera el Pvalue para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula con un valor de error α de 0.05, asumiendo los datos como normales por la cantidad de mediciones.



Figura 22 Evaluación de dureza

Análisis termogravimétrico DSC Y TGA (Thermo Gravimetric Analisys TGA) Δ masa = f(t). Esta prueba se realiza para conocer las temperaturas a las que el material sufre alguna degradación, esto con el fin de que al reblandecer el material no rebase esta temperatura.La prueba se realiza en un equipo SDTQ600 TA-INSTRUMENTS. El registro que arroja el análisis es una curva que representa una variación de masa en función de la temperatura. La norma que se tomó de referencia es la Iso-11358 Plastics – Thermogravimetry (TG) of Polymers.

Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier FTIR. - Esta prueba se realiza para conocer, tipo de enlaces y grupos funcionales presentes, considerando que las purgas es una mezcla de más de un polímero.

Las muestras se analizaron en un equipo FTIR marca Bruker Tensor 37, utilizando un ATR, en modo transmitancia con 32 scans y una resolución de 1 cm-1. No se realizó ninguna preparación adicional a la muestra.

Ángulo de contacto. - Esta prueba se realiza para conocer cómo se comporta la mezcla de polímeros de la purga en contacto con líquidos, esta información se considera importante para procesos de separación posteriores al corte.

Esta prueba se realiza en un equipo Krüss modelo Drop Shape DSA30, la cual se basa en los siguientes principios y método de medición:

La muestra se coloca en una base firme horizontal, la gota que es colocada sobre la muestra, es iluminada desde el lado contrario a una cámara, la cual graba la imagen de la gota y la transfiere al monitor de una computadora, el equipo tiene instalado un software que analiza la imagen, calculando el ángulo de contacto.

La prueba se realizó con dos líquidos, agua desionizada y solución salina concentración 1:2. La figura 23 muestra el equipo y sus componentes.

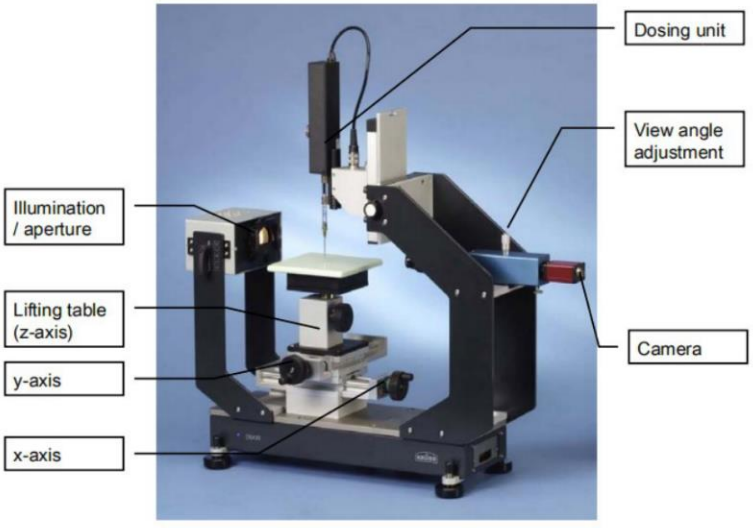
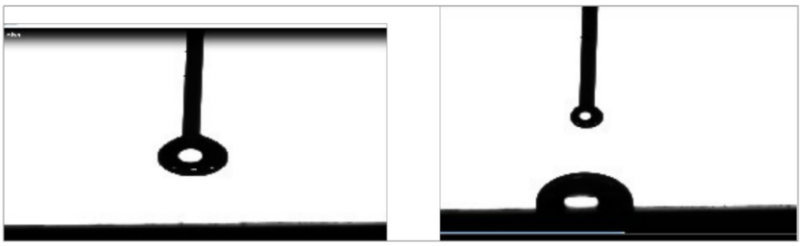


Figura 23 modelo Drop Shape DSA30

El equipo da como resultado un video donde se captura la imagen que se usa para medir los parámetros y entrega un reporte como el que se muestra en la figura 24.



Calculated Values [mN/m] :
Total IFT(IFT(s)) : 60.4
(this result is calculated with mean contact angle of substance)

Measuring Data :

N	Measurement Name	Liquid Name	CA [deg.]	IFT(l) [mN/m]
1	SDM - 0	water	36.9	72.10

N - Run Number; CA - Contact Angle; IFT(l) - Liquid Surface Tension.

Figura 24 Resultados de la prueba ángulo de contacto (S S Technical Information, 2012)

RFDA (resonance frequencies damping absorption).- Para determinar el módulo de Young se usó un equipo RFDA marca Imce, el equipo mide la frecuencia de vibración de flexión y calcula el módulo de Young utilizando la masa y dimensiones de la muestra de acuerdo con las diferentes medidas y estándares (ASTM E1876-15, ISO 12680-1, EN 843-2), las muestras se golpean mecánicamente a mano con un pequeño martillo flexible. La señal de vibración inducida se detecta con un micrófono USB (10Hz - 16kHz) y posteriormente, las propiedades elásticas se calculan mediante el software del equipo, la base de cálculo es la ecuación 3:

$$E = 0.9465 \left(\frac{mFf^2}{w}\right)\left(\frac{L^3}{t^3}\right)T \qquad \text{Ec 3}$$

E = módulo de Young GPa
Ff= frecuencia de flexión
m = Masa gr
L = largo mm
w = ancho mm
t = espesor mm
T= factor de corrección
En la figura 25 se puede observar el equipo y una de las muestras antes de la medición.

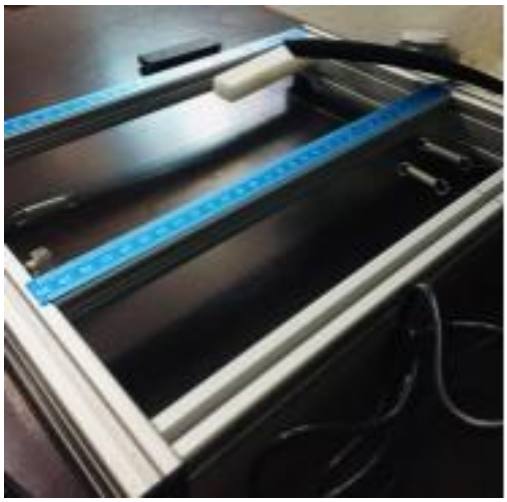


Figura 25 equipo RFDA

Evaluación del comportamiento de las purgas al calentarse. - Esta evaluación se realizó con el fin de determinar a qué temperatura se puede cortar la purga y poder evaluar el material después de ser reblandecido.

La prueba se realiza de dos maneras:

A- Calentando en mufla.- Tamaño de muestra 10x5x2cm, mufla modelo FE340 de la marca Felisa, voltaje 120V, Potencia 1500W, frecuencia 60Hz. Esta prueba se realiza en dos tiempos, primero se realiza elevando la temperatura en 10 °C (partiendo de 150ºC) y monitoreando cada 10 minutos hasta que la purga reblandece. La segunda parte de la prueba se realiza programando la temperatura encontrada, se monitorea cada 10 minutos el estado de las muestras. Cuando estas se reblandecen se sacan de la mufla y se evalúan sus propiedades.

B.- El calentamiento se realiza colocando las muestras en el foco de radiación de un concentrador solar tipo Fresnel. Se exploran diferentes ángulos y alturas para verificar la potencia solar y la temperatura que se alcanza en la zona del foco de radiación, hasta encontrar las condiciones a las que se alcanzan los 230°C. Se colocan algunas purgas (sin modificar el tamaño con que se recolectaron) en la zona de concentración solar, hasta que se reblandecen y se pueden cortar ver figura 26 A y 26 B.

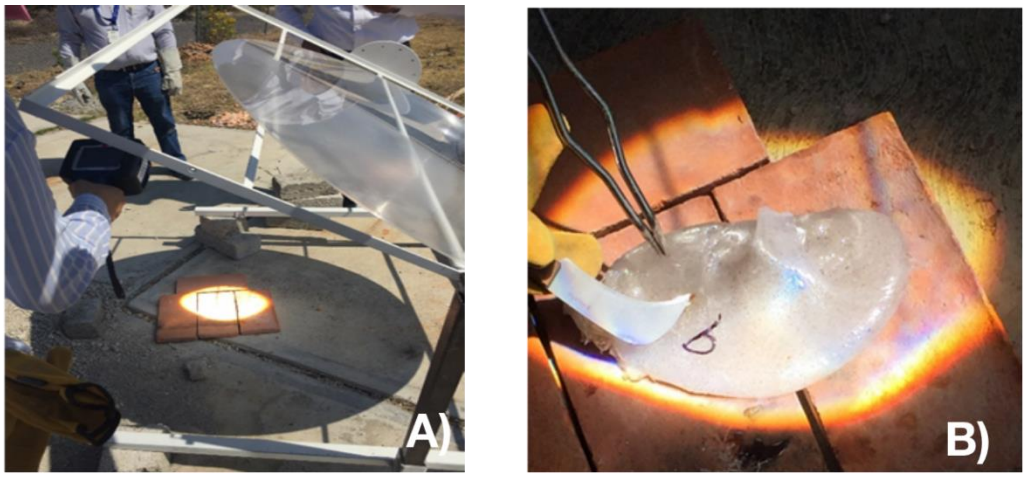


Figura 26 Calentamiento con lente fresnel A.- foco de radiación del lente Fresnel B.- Purga en condiciones de corte

Se considera el tiempo requerido para este proceso y corroborando mediante corte manual. Cabe aclarar que se depende de las condiciones de radiación solar las cuales pueden variar durante el año.

En ambas formas de calentamiento se evalúa si un corte convencional, manual, permite la reducción del tamaño de la purga, si hay formación de rugosidades, contracción superficial, generación de gases, etc.

Con la información obtenida en la primera etapa se emplea la metodología seis sigmas para el diseño y fabricación del prototipo y los procesos, esta comprende 5 etapas, definir, medir, analizar, diseñar y verificar, DMADV.

La figura 27 muestra en un panorama global del proceso a seguir:



Figura 27 Esquema general del trabajo para el diseño

En particular se utilizaron varias herramientas de análisis para asegurar el correcto diseño considerando márgenes de confianza del 95%, a continuación, se menciona una breve descripción de estas:

Diagrama de Bloques funcionales “DBF”. - Es la construcción gráfica de elementos funcionales de un sistema y sus interrelaciones, se complementa con la función crítica que corresponde a cada elemento del sistema.

Diagrama de parámetros “Diagrama “P”. - Es esencialmente un esquema dibujado que abarca a los factores de ruido, de control, de señal y la variable de respuesta. (función critica)

Despliegue de la función de calidad “QFD”. - Método para trasladar los Requerimientos del Cliente y derivar los requerimientos técnicos en cada fase del Ciclo de realización del Producto, para entregar al Cliente el producto/servicio que cumpla con sus requerimientos

Análisis del modo y efecto de la falla “AMEF”. - Se analiza las posibles fallas y se asignan acciones para prevenirlas.

Diseño de experimentos DOE. - Técnica estadística que se basa en organizar y diseñar una serie de experimentos de forma, que con el mínimo número de pruebas se consiga extraer información útil para obtener conclusiones que permitan optimizar la configuración de un proceso o producto

ANOVA. - Técnica para analizar dos o más grupos de datos a través de su media cuando sus varianzas son estadísticamente iguales.

Prueba de Hipótesis T.- Técnica para evaluar la diferencia estadística entre dos muestras de datos.

Análisis Ergonómico. - Este análisis busca que los productos diseñados sean eficientes en su uso, seguros y que contribuyan a mejorar la productividad sin generar patologías en el humano.

Software utilizado: CES EduPack Software de materiales / Solid Works V2018 Software para modelar/ ANSYS V2019 Software de simulación y análisis estructural y MINITAB V14 para el análisis estadístico de datos

Durante la etapa de análisis se realizan pruebas que evalúan el alcance de los objetivos y el modelo se va ajustando de ser necesario, hasta lograrlos.

Una vez que se alcanza el objetivo se Manufacturan y prueban los dispositivos, de ser necesario se vuelven a hacer ajustes.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Análisis y discusión

En este Capítulo se estarán presentando los Análisis y la discusión de los resultados, todos los datos de las pruebas realizadas y la información obtenida se usaron como entrada al diseño, esta sección abarca la propuesta y evaluación de este. Los datos se anexan en el orden de la metodología propuesta en el capítulo previo.

4.1.1 Selección de purgas

La Identificación, separación, recolección y agrupación de las purgas se realizó con la persona a cargo del proceso productivo, la clasificación está dada por la composición de las purgas que va aunado al tipo de clientes (empresas donde se recolectan), se seleccionaron las de mayor volumen y dificultad en su manejo.

En la tabla 2 se muestran las purgas que se trabajaron en el proyecto, están divididas por composición y se anexan algunas de las características físicas observadas durante su recolección.

Tabla 2 Purgas

CONTENIDO	DESCRIPCIÓN FISICA	
PP-ABS	Gris con muchas lineas marcadas	
PC-ABS-PP	Dos tonos de negro, uno brillante y otro opaco	
Nylon 66 amarillo	Amarillo con muchas líneas marcadas	
Acetal	Blanca con muchas granulaciones	
Nylon 66 negro con cargas	Negra en forma de spaguetis	

4.1.2 Caracterización

4.1.2.1 Prueba de ensayo a la flama

Tabla 3 observaciones realizadas durante la prueba de ensayo a la flama

Tipo de Purga	Observaciones
PP-ABS	El material se deforma rápidamente, la flama es amarilla y azul, burbujea y pierde viscosidad, pero no gotea, se carboniza en sus paredes. se puede estirar como en un 90%, produce poco humo
PC-ABS-PP	Enciende rápidamente y se deforma, la flama es amarilla, produce mucho humo de color negro, el aroma es muy fuerte a neumático quemado. Pierde viscosidad, pero no gotea, se puede estirar como en un 80%, al final carboniza
Nylon 66 amarillo	Tarda en encender y cambiar de forma, burbujea, produce poco humo, la flama es amarilla y azul, pierde viscosidad, pero no gotea, se puede estirar como en un 50%, al final carboniza
Acetal	Enciende rápidamente y se deforma, la flama es amarilla con azul, produce poco humo, el aroma es muy fuerte a neumático quemado, burbujea y pierde viscosidad, pero no gotea, se puede estirar como en un 80%, al final carboniza
Nylon 66/negra con cargas	Tarda en encender y cambiar de forma, burbujea mucho pero no gotea, produce poco humo, flama en amarillo y azul, casi no se puede estirar al final se carbonizo poco

Como puede observarse en la tabla 3, todos los materiales conservan su termoplasticidad, a excepción del nylon 66 negro con cargas todos se pueden estirar con relativa facilidad. Todos pierden viscosidad, pero ninguno llega a gotear, Lo cual permite un proceso de corte sin perder material por escurrimiento

4.1.2.2 Dureza

Se realizaron treinta mediciones de dureza en diferentes zonas de la purga para determinar la homogeneidad del material antes y después del tratamiento térmico. Se aplicó la prueba estadística t-student con un nivel de confianza del 95% y un planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula H0: $\mu 1 - \mu 2 = 0$, hipótesis alternativa H1: $\mu 1 - \mu 2 \neq 0$

La prueba de hipótesis se realiza con el estadístico de prueba del valor “p” para evaluar si existe una diferencia estadística en los valores promedio de dureza antes y después del tratamiento térmico de la muestra. Se considera un valor de error de 0.05 para aceptar o rechazar la hipótesis nula, asumiendo datos normales para este número de mediciones. Por otro lado, se aplica la prueba estadística de Levene para evaluar el impacto en la variación de los resultados obtenidos en ambas condiciones para cada una de las purgas. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos y la conclusión del análisis estadístico.

Tabla 4 Análisis de la dureza

Polímero	Dureza promedio antes de calentar	Dureza promedio después de calentar	Conclusión de análisis de los promedios	Conclusión de análisis de la variación
PP-ABS	59.03	60.6	P-value = 0.149 Sin cambios	P-value = 0.115 Sin cambios
PC-ABS-PP	71.33	63.23	P-value = 0.00 Diferencia decreciente	P-value = 0.591 Sin cambios
Nylon 66 amarillo	69.53	62.63	P-value = 0.001 Diferencia decreciente	P-value = 0.364 Sin cambios
Acetal	66.37	68.67	P-value = 0.005 Diferencia creciente	P-value = 0.218 Sin cambios
Nylon 66/negro con carga	59.8	64.43	P-value = 0.00 Diferencia creciente	P-value = 0.701 Sin cambios

En las Conclusiones del análisis de los promedios podemos observar que no hay cambios en PP-ABS, PC-ABS-PP y Nylon 66 amarillo la dureza disminuye tras ablandarlos, mientras que Acetal y Nylon 66/negro con cargas la dureza aumenta. En el caso de variación, ésta

no cambia en ninguna de las muestras. Se puede observar cómo se distribuyen los datos antes y después de ablandar cada tipo de purga. Estos resultados se asocian a la heterogeneidad de la muestra y podría dificultar la posibilidad de reciclaje. Ver figura 28.

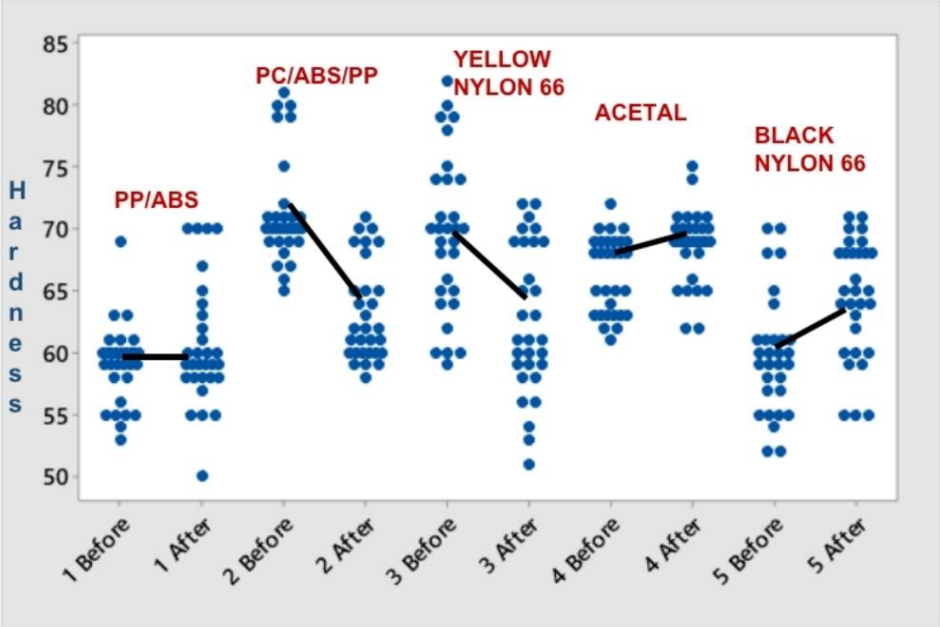


Figura 28 Distribución y promedios de los valores de dureza antes y después del ablandamiento.

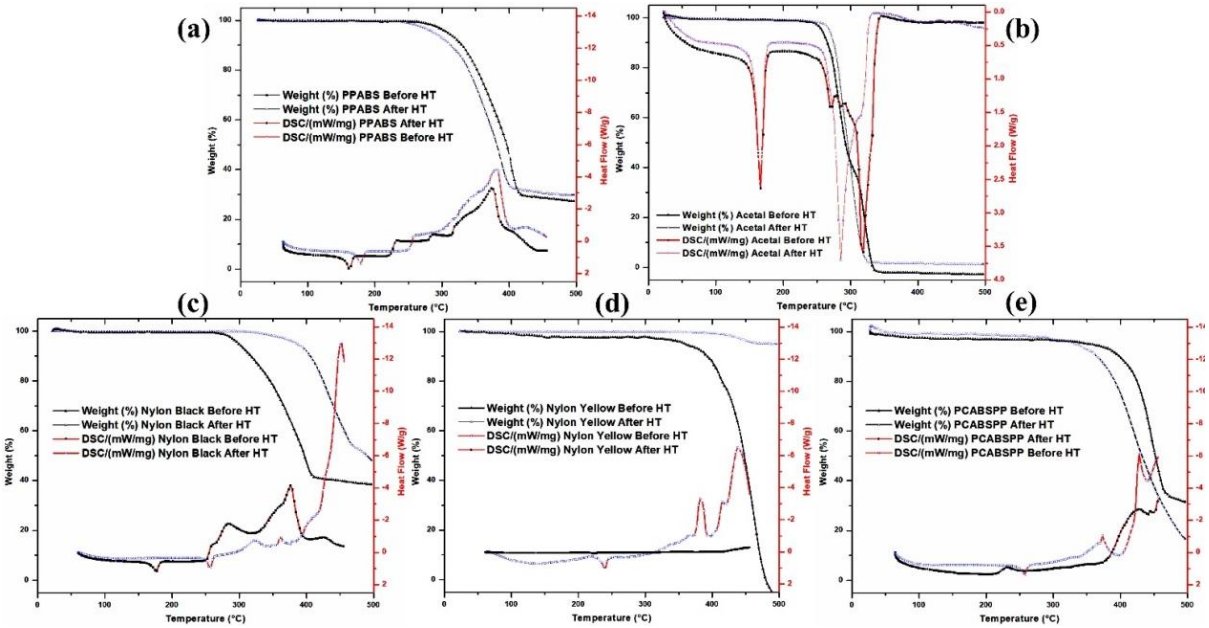
4.1.2.3 DSC-TGA

La temperatura de transición vítrea (Tg) del ABS suele oscilar entre 105 y 125 °C, dependiendo de las proporciones de los tres componentes y de los pesos moleculares de las cadenas poliméricas. En cualquier polímero, las variaciones de la Tg dependen de la formulación específica y de las condiciones de procesamiento. Sin embargo, son incluso más frecuentes en las purgas de polímeros industriales que podrían tener plastificantes, colorantes o pesos moleculares más amplios.

La Tg del PC está en el rango de 145-150 °C. El naylon 66, el PP y el acetal (polioximetileno) son polímeros semicristalinos en los que la Tg es la transición de un estado vítreo a un estado viscoso en el rango de 45-50 °C, -10 a -5 °C y -50 a -80 °C, respectivamente.

Se realizaron análisis calorimétricos DSC/TGA para conocer las temperaturas límite para los calentamientos. Mientras los gráficos DSC no muestren eventos irreversibles ni los gráficos

TGA muestren una pérdida de peso, el calentamiento se puede realizar manteniendo la integridad del polímero y las características originales del mismo. El PP- ABS, Acetal, Nylon 66 negro, Nylon 66 amarillo y PC ABS PP, la temperatura límite propuesta podría ser de aproximadamente 245, 240, 250, 330 y 270 °C, respectivamente. Ver figura 29(a-e).



.

Figura 29 Análisis DSC y TGA para los cinco polímeros estudiados mostrando sus gráficos antes y después de los tratamientos térmicos mediante calentamiento con luz solar indirecta (a) PP ABS, (b) Acetal, (c) Nylon 66 negro, (d) Nylon 66 amarillo y (e) PC A

4.1.2.4 FTIR

Para determinar si la purga contiene los polímeros señalados por la empresa, los grupos funcionales que señala el resultado se comparan con los componentes de dichos polímeros en referencias bibliográficas, los picos adicionales se atribuyen a los grupos funcionales de aditivos o contaminantes en la purga.

El resultado de la prueba para la muestra que la empresa identifico como PP-ABS se observa en la figura 30.

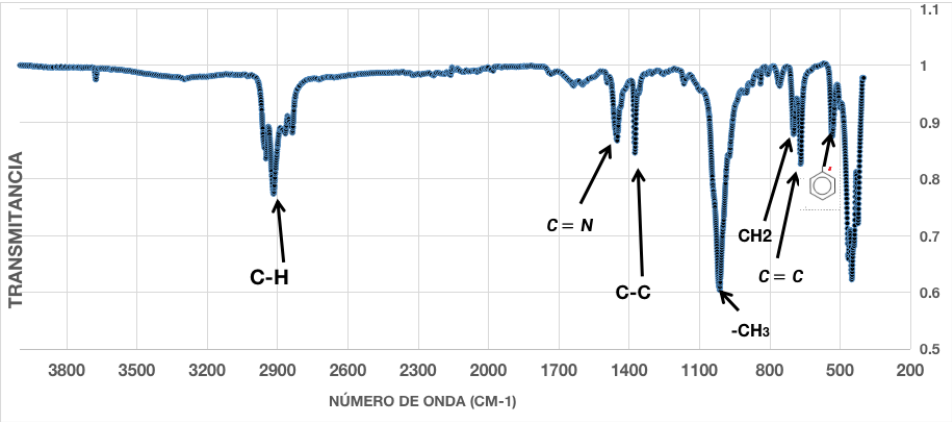


Figura 30 FTIR para PP-ABS

Se observan picos: entre 3000-2800 cm^{-1} que corresponde a enlaces C-H, en la zona entre 1300-1400 cm^{-1} que corresponden a –C-C–, entre 1100-1000 cm^{-1} los correspondientes a -–CH_3. Hacia 700 cm^{-1} sale el pico del CH2. Este grupo de picos coinciden con los componentes de polipropileno, la presencia de picos en la zona de 600-700 cm^{-1} en conjunto con picos menores a 0.9 entre 1500 y 1700 cm^{-1} coinciden con la presencia de grupos aromáticos representativos de poliestireno, los dobles enlaces representados por picos posicionados entre los 700-800cm^{-1} pueden indicar la presencia de butadieno, el pico de un triple enlace con Nitrógeno correspondiente al acrilonitrilo se debiera observar entre 2200-2400 cm^{-1} este no se percibe en la imagen, sin embargo esto no es raro cuando existe una proporción mayor del alguno de los otros compuestos en la mezcla. Como conclusión se puede decir que la identificación dada por la empresa es correcta para esta purga.

El resultado de la prueba para la muestra que la empresa identifico como PC-ABS-PP se observa en la figura 31.

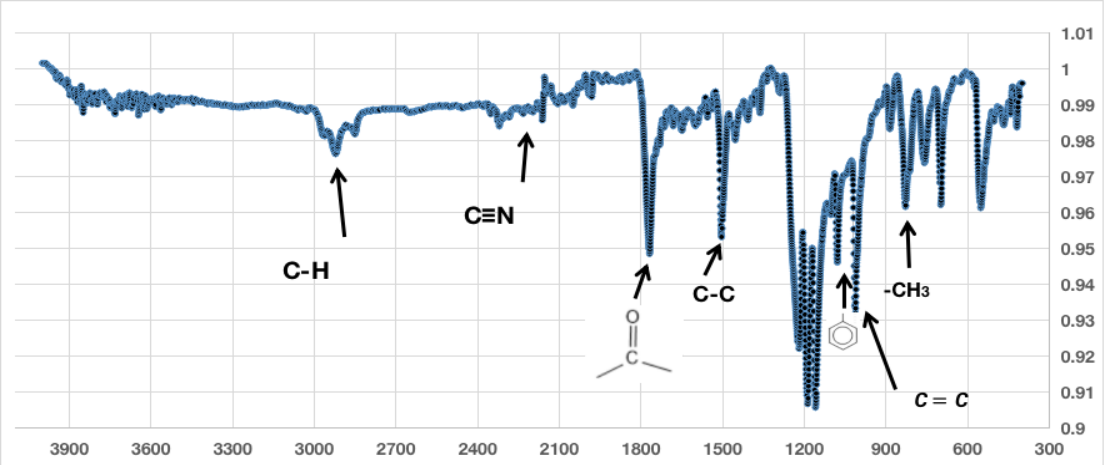


Figura 31 FTIR para PC-ABS-PP

Se observan picos: entre 3000-2800 cm^{-1} que corresponde a enlaces C-H, alrededor de 1750 cm^{-1} correspondientes a e C=O, en la zona entre 1300-1400 cm^{-1} que corresponden a –C-C– , entre 500-1300 cm^{-1} los correspondientes a $-CH_3$, picos entre 1400- 1600 cm^{-1} a $–CH_2$ y aromático, todos este espectro sugiere la presencia de PC y PP, correspondiente al ABS se observan picos entre 2200-2300 cm^{-1} para C≡N y entre 1000-1100 cm^{-1} para C=C, el espectro total sugiere que la identificación dada por la empresa es correcta para esta purga.

El resultado de la prueba para la muestra que la empresa identifico como Acetal o POM se observa en la figura 32.

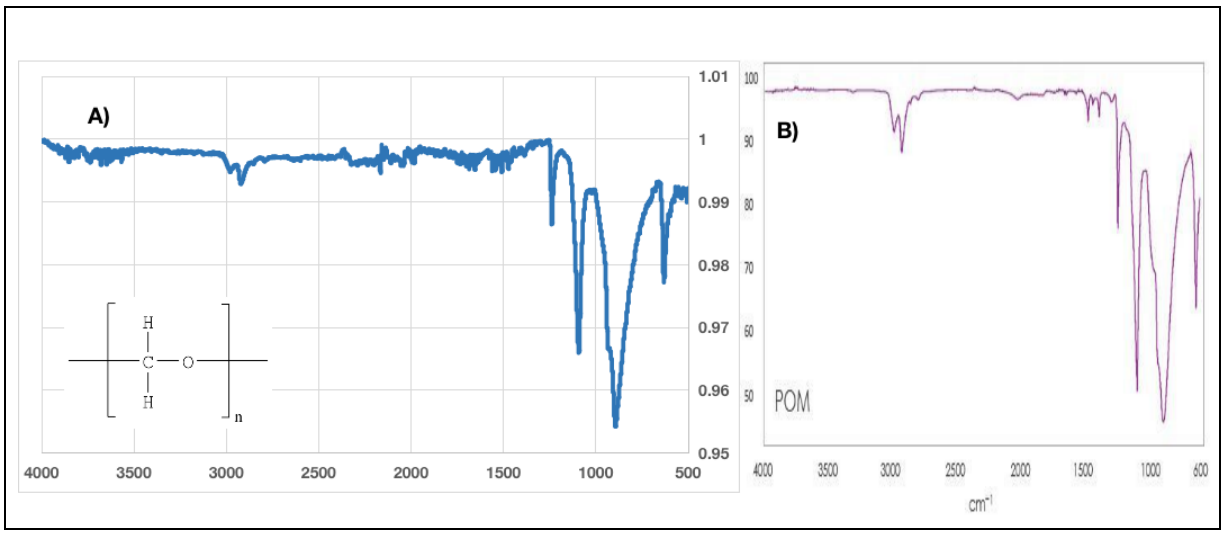


Figura 32 FTIR para Acetal (POM) A) Obtenida de la purga, B)fuente: https://www.mexpolimeros.com/ETP/pom.html

Esta gráfica por no considerarse una mezcla se compara con la del polímero virgen, como se puede observar hay una coincidencia prácticamente total, por lo que se concluye que la identificación dada por la empresa es correcta para esta purga.

El resultado de la prueba para la muestra que la empresa identifico como Nylon 6,6 (poliamida 6,6) con cargas se observa en la figura 33.

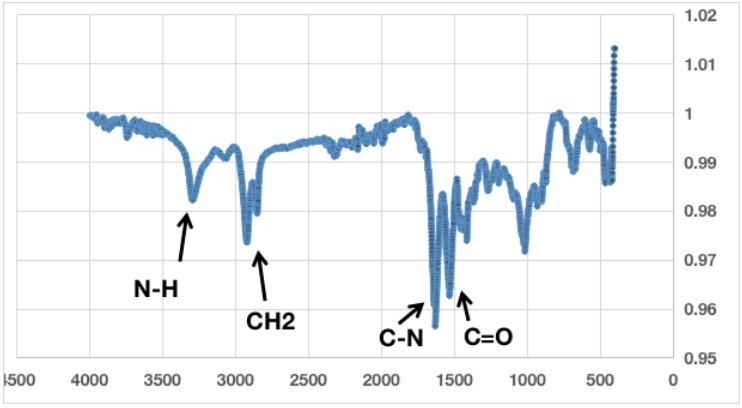


Figura 33 FTIR para Nylon 6,6 (poliamida 6,6) con cargas

Los picos que se observan alrededor de 3300 cm^{-1} corresponde a las frecuencias de vibración del enlace N-H y la región alrededor de 2930 a 2860 cm^{-1} al grupo CH_2. El pico ubicado alrededor de 1365 cm^{-1} corresponde al enlace C=O característico del grupo amida y a 1416 cm^{-1} al grupo C-N. En la región entre 1400-500 cm^{-1} se observan otros picos, los cuales se pueden atribuir a las cargas, conformados por compuestos de carbono enlaces C-C. Se concluye que la identificación dada por la empresa es correcta para esta purga.

4.1.2.5 Ángulo de contacto

Tabla 5 Resultados de Ángulo de contacto

Material	Ángulo de contacto sol. salina L	Ángulo de contacto sol. salina R	Ángulo de contacto sol. salina M	St DV	Ángulo de contacto agua desionizada L	Ángulo de contacto agua desionizada R	Ángulo de contacto agua desionizada M	St DV
PC+ABS	42.1	47.2	44.66	2.51	59.2	55.1	57.17	2.06
PP	80.8	82.8	81.8	1.01	85.7	82.1	83.89	1.79
ABS rojo	83.4	85.6	84.5	1.1	83.8	85.2	84.48	0.7
ABS gris	73.1	71.3	72.21	0.86	86	86.2	86.12	0.01
PA 66 GF25% (bco)	85.2	82.7	83.94	1.29	85.3	91.8	88.58	3.27
PA 66 natural	81.5	80.9	81.24	0.31	87	93.9	90.45	3.43
PA 66 negro	63.2	64.9	64.06	0.86	60	52.8	56.38	3.62
PC bco y negro (blanco)	82.8	79.3	81.08	1.75	92.1	95	93.6	1.45
PC bco y negro (negro)	64.9	63.2	64.05	0.89	83.8	83.5	83.67	0.18
PE	49.8	47.1	48.45	1.35	115.2	122.7	118.94	3.73

Como se observa en la tabla 5 los ángulos de contacto promedio obtenidos usando agua desionizada, se encuentra entre 56.38º y 118.94º y usando solución salina 44.66º y 83.94°, es decir rebasan los 30º lo que permite concluir que todos los materiales evaluados pueden considerarse hidrofóbicos.

4.1.2.6 Modulo de Young RFDA

En la tabla 4.5 se muestran los resultados que arroja el software, como se puede ver los valores de módulo de Young se encuentran entre 2.38GPa y 3.95GPa. Esta variable se midió nuevamente después del corte, determinando el cambio del material con el proceso aplicado.

Tabla 6 Resultados de RFDA

Material	E mod GPa	ΔE-mod GPa	Valor de referencia GPa
PC ABS PP	2.38	0.01	2.38/2.3/1.14-1.55
ACETAL	2.45	0.01	2.5
NYLON 66 NEGRA	3.08	0.01	1.59-3.79
PP ABS	3.85	0.01	1.14-1.55/2.3
Nylon 66 A.	3.94	0.03	1.59-3.79

La última columna de la tabla 6 es el valor de referencia para el caso de los materiales sin procesar y sin mezclar, como se puede observar, para el caso de estos materiales ya procesados y mezclados si varia su módulo de elasticidad en menos del 5%, solamente en el caso de PP/ABS se tiene una variación mayor que dependerá del porcentaje presente de cada polímero en la aleación polimérica. En el caso del Nylon 66 A se tiene un ligero aumento de módulo de Young, ubicado dentro del 5% de variación, y el más elástico la mezcla de PC/ABS/PP.

El dispositivo de prueba informa los resultados, arrojando un gráfico de la señal de ruido en la parte superior. La parte inferior izquierda del software que utiliza para muestra el módulo de Young. El resto de la información muestra los datos que el software utiliza para el cálculo. Ver figura 34.

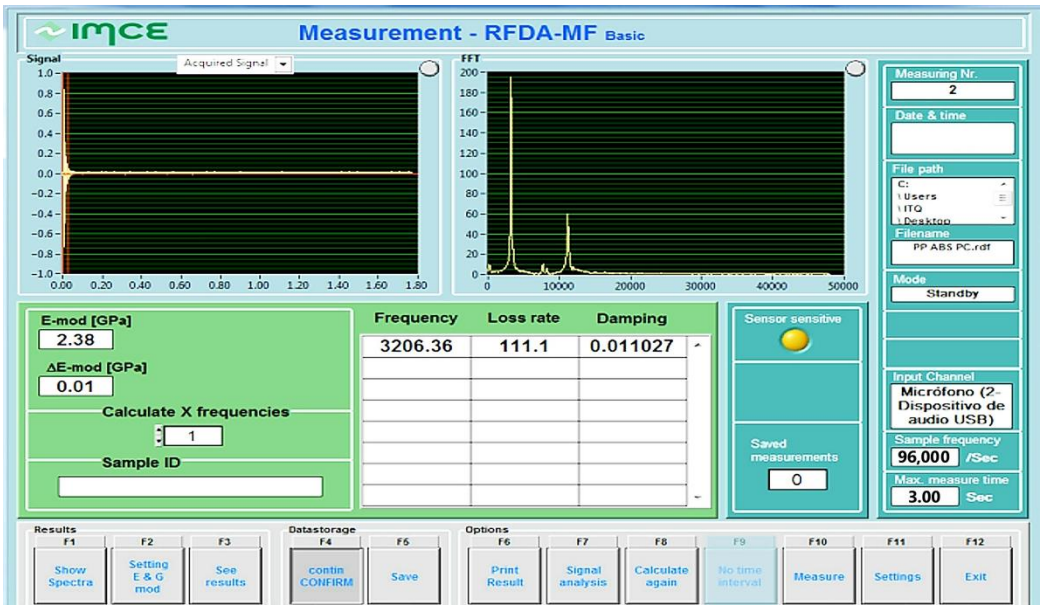


Figura 34 Pantalla de resultados del conjunto de pruebas RFDA.

Los resultados en un gráfico de barras, que muestra la diferencia entre los valores promedio antes y después de suavizar y cortar cada purga se muestran en la figura 35.

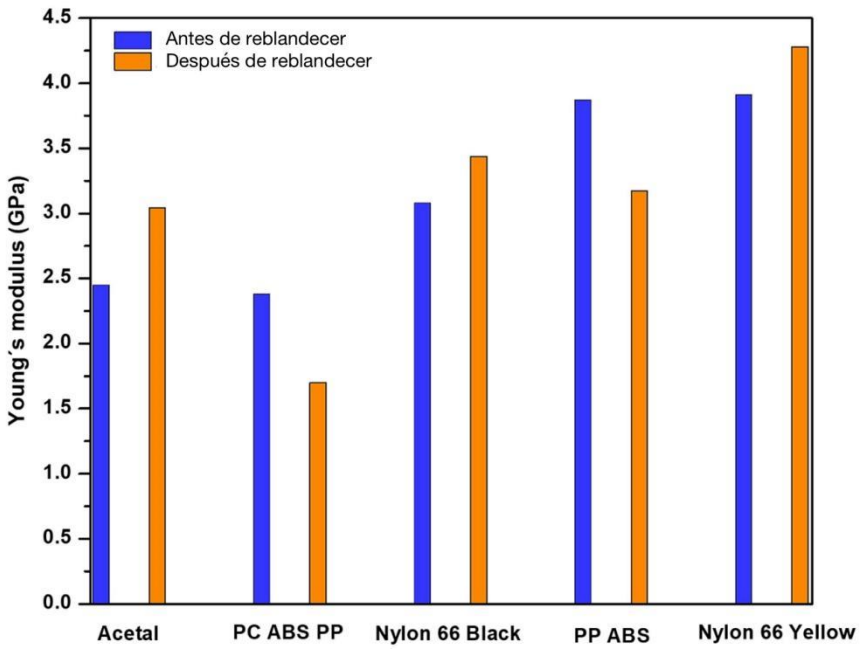


Figura 35 Comparación del módulo de Young promedio antes y después del ablandamiento.

4.1.2.7 Comportamiento al calentamiento

4.1.2.7.1 Calentamiento en mufla

Se determinó la temperatura a la cual se puede ablandar cada tipo de purga. Se varió la temperatura para evaluar el estado de los materiales en diferentes tiempos. Se tomaron los resultados obtenidos al mantener una temperatura constante. Una vez ablandado el material, se identificó el tiempo requerido, se retiró de la mufla y se realizaron algunas observaciones sobre el comportamiento de la purga en relación con el proceso de corte. Los resultados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7 Resultados del calentamiento en mufla

Contenido	peso Grs	Temp. a la que se ablando °C	tiempo al que se ablando min.	Observaciones durante el corte con cuchillo
PP ABS	16.7	250	20	Se puede cortar con facilidad se puede estirar tiende a hacerse viscosa
PC ABS PP	52.99	250	20	Se puede cortar con facilidad se puede estirar
Nylon 66 Amarillo	6.64	250	20	Se enfría y endurece muy rápido Se puede estirar Cambia a un color obscuro Relativamente difícil cortarla, toma una consistencia arenosa
Acetal	29.88	300	45	Se enfría y endurece muy rápido Se puede estirar Difícil cortarla
Nylon 66 negra cc	19.63	300	50	Se enfría y endurece muy rápido Se puede estirar pero toma consistencia polvosa solo se puede cortar con facilidad si se estira primero

Como puede observarse en la tabla 8, las temperaturas a las que reblandecen las purgas está en el rango de 250-300ºC. Tanto los nylon 66 como el acetal resultaron difíciles de cortar debido a que se enfrían y endurecen al momento de retirarlas de la mufla, pero todos lograron cortarse.

4.1.2.7.2 Calentamiento con radiación solar concentrada a través de lente Fresnel.

La altura y ángulos de inclinación a los cuales se obtienen temperaturas alrededor de 230°C se muestran en la figura 36.

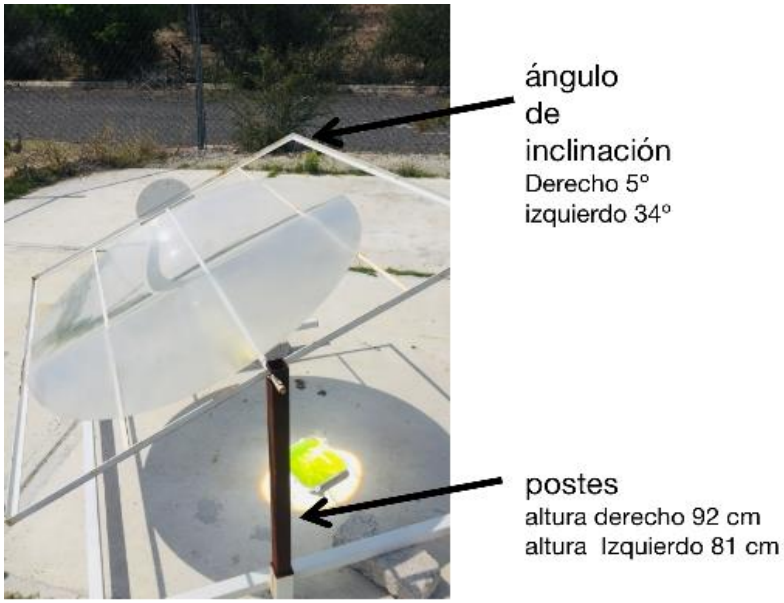


Figura 36 Altura y ángulos de inclinación utilizados

Se realiza el arreglo del lente fresnel considerando la posición del sol para tener una incidencia normal al lente y lograr la máxima concentración solar. Para este ejercicio se emplearon las siguientes condiciones; Altura 92cm en el poste izquierdo y 81 cm en el poste derecho, con ángulos de inclinación del lente de 5 y 34º.

Tabla 8 Resultados de Comportamiento al calentamiento con Radiación concentrada

identificador	Contenido	caracteristicas fisicas	Potencia solar watts/m2	Temp. °c	Tiempo P reblandecer minutos	Observaciones
Gris-N	Polipropileno / ABS	Gris	1343	230	no se tomo el tiempo	Se pudo cortar facilmente
verde	Polipropileno multicolor	Color verde	1350	230	3.5	a 1.5 min comenzo a humear Se puso chicloso Dificil de cortar
negra como cables	Polietileno	negra como cables consistencia sueve y un poco esponjosa	1305	230	no se tomo el tiempo	Facil de cortar
9 CC	Policarbonato natural	como cristal contaminado de puntos negros	1335	230	6	A 20 seg.comienza a humear se puede cortar con cierta facilidad

Con esta prueba se puede concluir que el colector solar lente fresnel logró las temperaturas de reblandecimiento de las purgas evaluadas 230-300ºC.

4.2 Desarrollo de la propuesta de mejora

4.2.1 Diseño y manufactura del prototipo considerando el uso de energías renovables

Con toda la información obtenida en las etapas previas, se desarrolla el diseño de los procesos y dispositivos necesarios para el logro del objetivo general planteado.

A continuación, se detalla el diseño y la manufactura de los dispositivos, se omiten algunos datos que involucra la metodología DMADV para no duplicar la información ya presentada.

Definición del objetivo general del diseño: Crear los procesos y los dispositivos para cortar las purgas, usando fuentes de energía renovables.

Se muestra de manera gráfica cada uno de los procesos necesarios para el logro del objetivo del diseño así como la interacción entre estos en la figura 37 esta herramienta conocida como un diagrama o mapa de procesos.

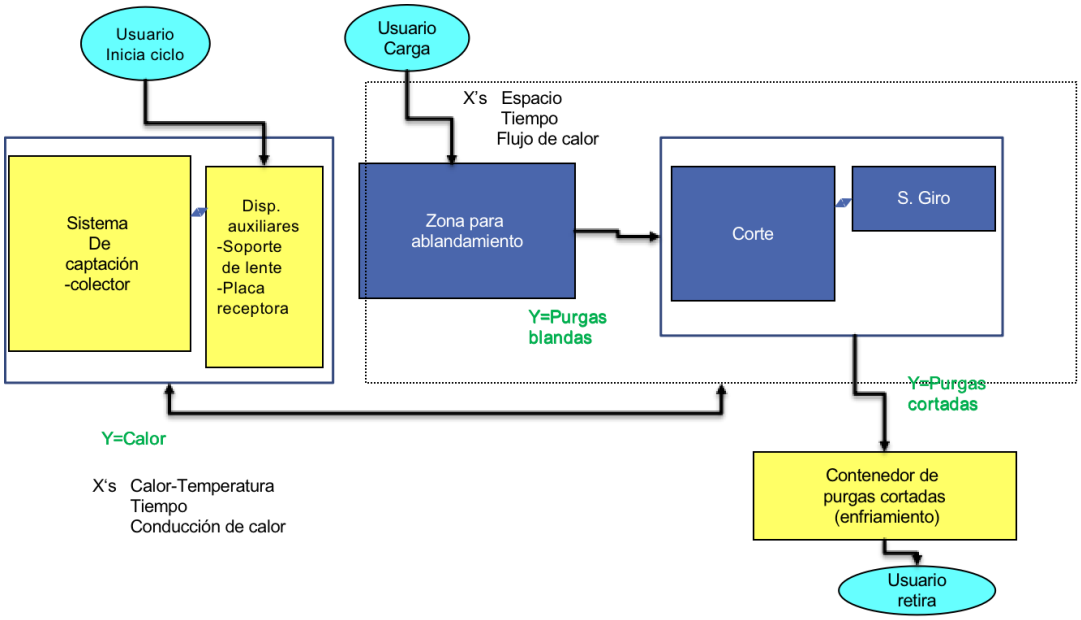


Figura 37 Mapa de procesos

Esta información se complementa con un un diagrama de bloques funcionales mostrado en la tabla 9.

Tabla 9 Diagrama de bloques funcionales

Sistemas y subsistemas críticos que integran el diseño	Descripción de la función
1.- Sistema de captación del calor solar (Concentrador)	Conversión de la radiación solar en calor
Dispositivos auxiliares	
2.- Zona de ablandamiento	Ablandar las purgas, mantener la temperatura alcanzada para este fin
Dispositivos auxiliares	
3.- Sistema de Corte	Realizar el corte
Dispositivos auxiliares	
4.- Contenedor de purgas cortadas	Recibir y contener los cortes de purga

Los puntos 4.3.1- 4.3.4 detallan el diseño de cada uno de sistemas y subsistemas.

4.2.1.1 Sistema de captación solar.- Concentrador

Se analizaron los tipos de colectores solares y de acuerdo a las necesidades de temperatura requeridas para el proceso se determinó utilizar un concentrador solar tipo Fresnel, los dispositivos auxiliares para su funcionalidad son básicamente el lente y el soporte. Para determinar los requerimientos técnicos de estos dispositivos se consideró la información siguiente:

- Aprovechamiento de energía solar
- Dispositivos concentradores de energía solar
- Desarrollo de dispositivos que usan lentes fresnel como concentrador

Se aplica la técnica de diseño QFD, la cual busca traducir los requerimientos del dispositivo en variables técnicas esto para poder establecer los parámetros de diseño del dispositivo, en la figura 38 se muestra este análisis.

Row #	Weight Chart	Importancia	Requerimientos QUE \ COMO	Mecanismo de ajustarse la altura	Mecanismo de ajuste de angulo	Charola portamuestras	Jaladera– sistema tornillo sin fin o rieles	Ruedas de arrastre y freno	Pinza sujetadora acojinada
1	|||||	5	Puede aumentar o disminuir diametro del foco	●	●	○	▽	▽	▽
2	|||||	5	Puede ajustarse a la posición solar	○	●	▽	▽	▽	▽
3	|||||	3	Tiene una espacio para colocar muestras en el foco de radiación	○	▽	●	▽	▽	▽
4	|||	2	Puede desplazarse con facilidad	▽	▽	▽	▽	●	○
6	||||||	4	Tiene estabilidad	○	○	●	▽	●	▽
7	|||||	5	No tiene riesgos de que el lente se caiga	●	●	▽	○	○	●
8	|||||	5	Se pueden meter y sacar muestras sin riesgo de quemaduras	○	▽	●	●	○	▽
Relación Fuerte ● Moderada ○ Débil ▽			Target	50 cm minimo	180°	80 cm2 minimo	25 cm de carrera min.	Facil deslizamiento	Que no raye
			Weight Chart						

Figura 38 Análisis QFD

En la figura 38 la 3er columna contiene lo QUE se requiere del dispositivo, en el primer renglón se describen COMO las partes del dispositivo ayudaran a que los requerimientos puedan cumplirse, los círculos negro y blanco y el triángulo representan la relación entre el QUE y el COMO, circulo negro es fuerte, blanco moderada y el triángulo débil. Siempre debe haber al menos un COMO que se relacione fuertemente con un QUE. La columna titulada importancia, es la relevancia que se asigna al requerimiento, siendo cinco la mayor relevancia, el penúltimo renglón contiene el objetivo que debe cumplir el COMO y por último el weight chart son barras que indican el orden de importancia que toma tanto las variables QUE como las variables COMO.

Con la ayuda de esta herramienta se determinaron los requerimientos técnicos o mecanismos que deben ser considerados en el sistema para cumplir los requerimientos planteados.

Los de mayor relevancia son:

Mecanismo de ajuste tanto el de alturas como de ángulos, estos permiten alcanzar la posición y el diámetro del foco de radiación. - Se incorporan dos bastidores o marcos que, además de servir de soporte, podrán ajustarse a diversos ángulos de inclinación. El marco interno tendrá la doble función de soportar el lente y de modificar su ángulo de inclinación teniendo de referencia la posición perpendicular a los postes de altura. El marco externo dará al lente la posibilidad de mover su ángulo con referencia a los postes. Para la altura, el diseño está compuesto por dos postes laterales, cada uno se compone de dos tubos rectangulares (uno dentro del otro) que permite desplazarse para lograr diferentes alturas del lente con respecto a la muestra. Se tienen orificios de ajuste con una pulgada de separación siendo un total de 26, dando así un margen amplio de alturas que permiten variar la temperatura acorde a los requerimientos del material. Los medidores de ángulos en las posiciones mencionadas y la ubicación de los postes se muestran en la figura 39.

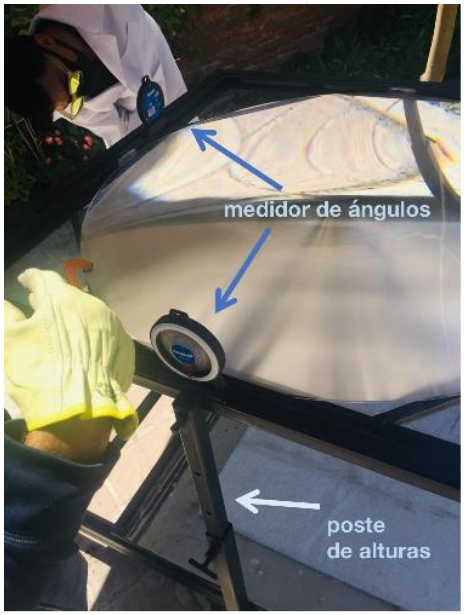


Figura 39 Ubicación de postes de altura y referencias para los ángulos

Se coloca una placa o charola donde se colocarán las muestras o materiales receptores de la radiación, a esta placa se le incorpora un sistema de deslizamiento manual que permite sacarla del foco para seguridad del usuario. Se agregan ruedas inferiores para lograr el desplazamiento del todo el dispositivo. Se utiliza el software SOLIDWORKS donde se modelan las piezas y ensamblajes en 3D. En la figura 40 se muestran los planos.

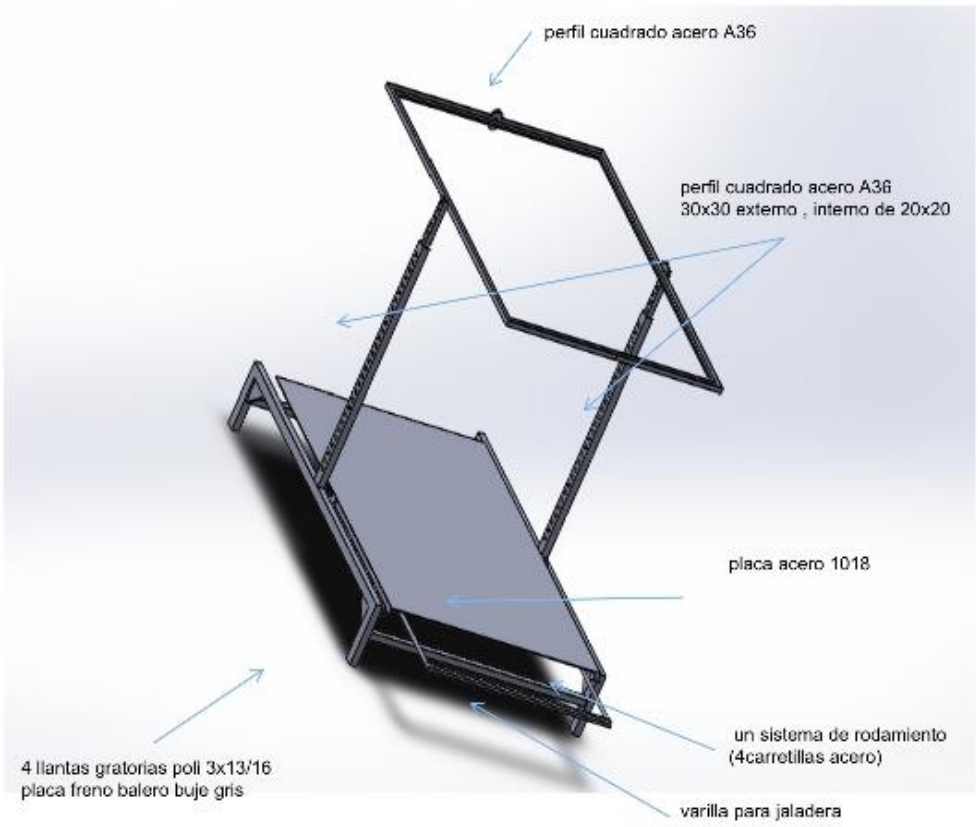


Figura 40 Planos del dispositivo diseñado

Para analizar el diseño, se realiza un análisis y simulación de partes por elementos finitos mediante el programa ANSYS.

Las capturas de pantalla obtenidas con el programa de simulación se muestran en la figura 41. La 4.5a) indica que el Análisis de diseño se realizó considerando una carga del lente de 55N (5.6 kg). Los resultados son: deformación máxima esperada es 10.049 mm totales en el marco figura 41 b y c) . El esfuerzo de Von Mises máximo es de 58.662 MPa y se presenta en la unión de los dos soportes del lente figura 41 d y e). El factor de seguridad es de 4.2617 y se presenta en la unión entre los dos bastidores figura 41 f).

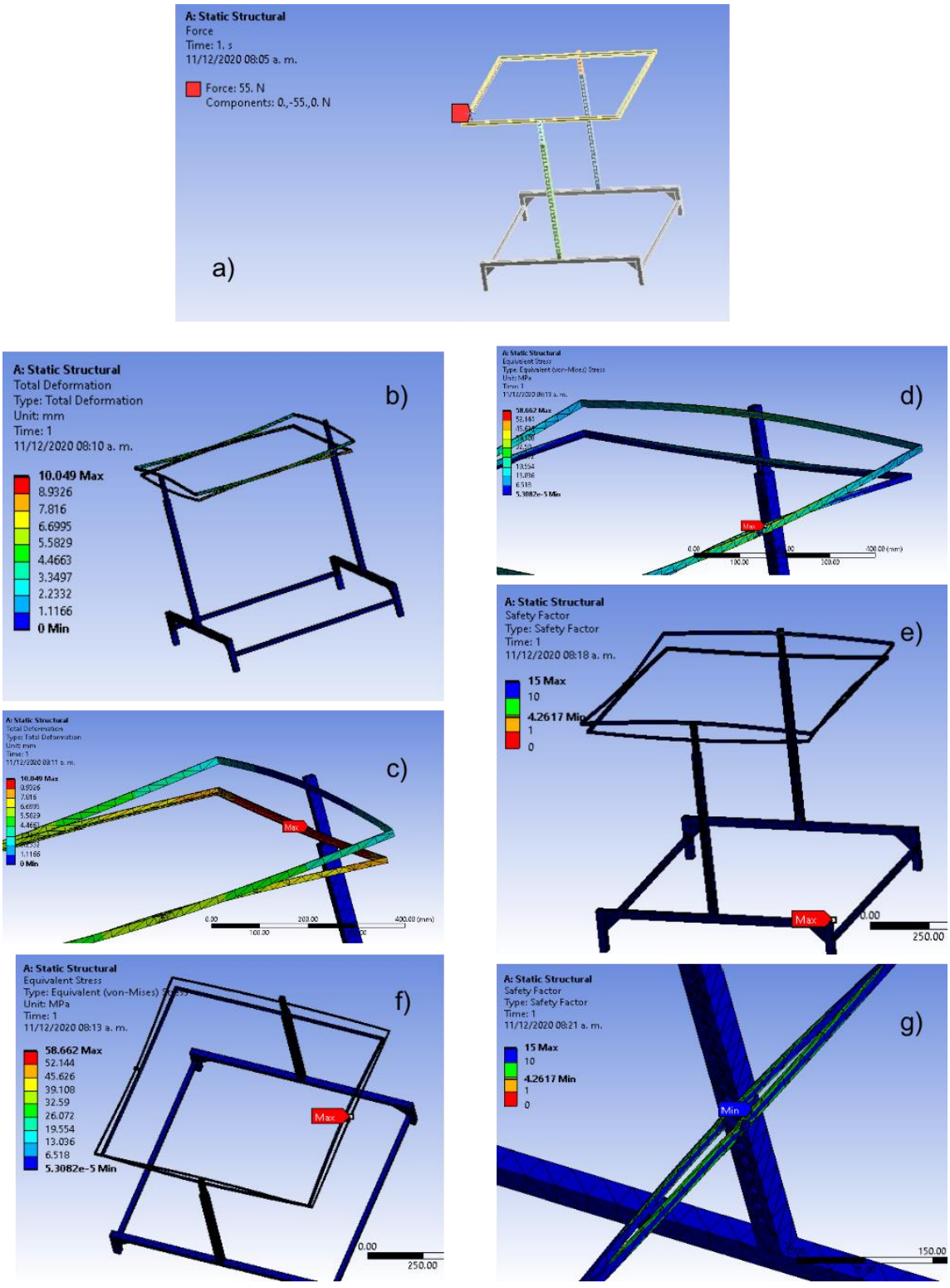


Figura 41 Simulación ANSYS

El análisis indica que el marco para el lente puede soportar la carga de forma adecuada, el modelo propuesto (incluyendo el tipo de material definido) es seguro para su uso sin presentar posibles daños estructurales y al usuario.

Se realiza un análisis del modo y efecto de falla AMEF con el fin de prevenir fallas en este sistema. La figura 42 muestra el resultado de este análisis.

Parte	Función	Fallo potencial	Efecto(s) potencial(es) del fallo	S	Causa(s) potencial(es) del fallo	Medida preventiva actual	O	Medidas de detección	D	NPR	Medidas tomadas
Soporte de lente	Mantener el lente fijo	Que el lente se caiga	El lente se rompa-Imposibilidad de realizar pruebas	10	Que el lente quede fuera de los soportes	Se considera colocar pinzas	5	en el giro no es posible	10	500	Colocar soportes transversales en las esquinas del bastidor interno
	Posicionar los ángulos	Que no pueda girar	Imposibilidad de realizar pruebas	5	Roce entre bastidores	Asegurar el corte y ensable	1	Verificar al colocar el lente	2	10	
Postes de altura	Dar la altura y determinar el diametro	Que no suba y baje	No optimizar la temperatura obtenida	5	Longitud del poste no óptima	no hay	10	Al ajustar alturas	5	250	Colocar un poste adicional con mayor altura
		Que se caiga	Imposibilidad de realizar pruebas	10	Asegurar llos seguros o pernos	asegurar el ensable del perno	2	al hacer el ajuste	2	40	
Plataforma	soportar la muestra	Que la muestra se caiga	Imposibilidad de realizar pruebas	10	plataforma endeble	Asegurar material de plataforma	1	al colocar la muestra	1	10	
	Ajuste en Posición de muestra	Que no se pueda realizar el ajuste	Provocar accidente al sacar la muestra	10	querer sacar la muestra cuando esta en el foco	asegurar el diseño de la plataforma	1	al colocar la muestra	1	10	

Figura 42 AMEF del soporte para el sistema de captación solar.

Cada columna indica la información que se va anexando, la 5 titulada con la letra S indica lo severo que sería si se presenta la falla siendo 10 el peor caso, la columna 8 titulada con la letra O indica que tan probable es que se presente la falla, siendo 10 la probabilidad más alta, la columna 10 titulada con la letra D indica si la falla puede detectarse antes de que ocurra, siendo 10 el peor caso, es decir que no se detecta, por último la comuna 11 titulada con NPR (número prioritario de riesgo) es la multiplicación de S*O*D y los valores más altos deben ser atendidos con cambios al diseño (conceptos marcados en rojo). Como resultado de este análisis, se realizaron dos cambios al diseño; 1.- Colocación de soportes transversales en las esquinas del bastidor interno y 2.- Colocación de un segundo poste de alturas con una longitud mayor. Ver figura 43, donde se muestra el dispositivo manufacturado, 43 a) el dispositivo completo, 43 b) señala los soportes en las esquinas, 43 c) señala el segundo poste de alturas.

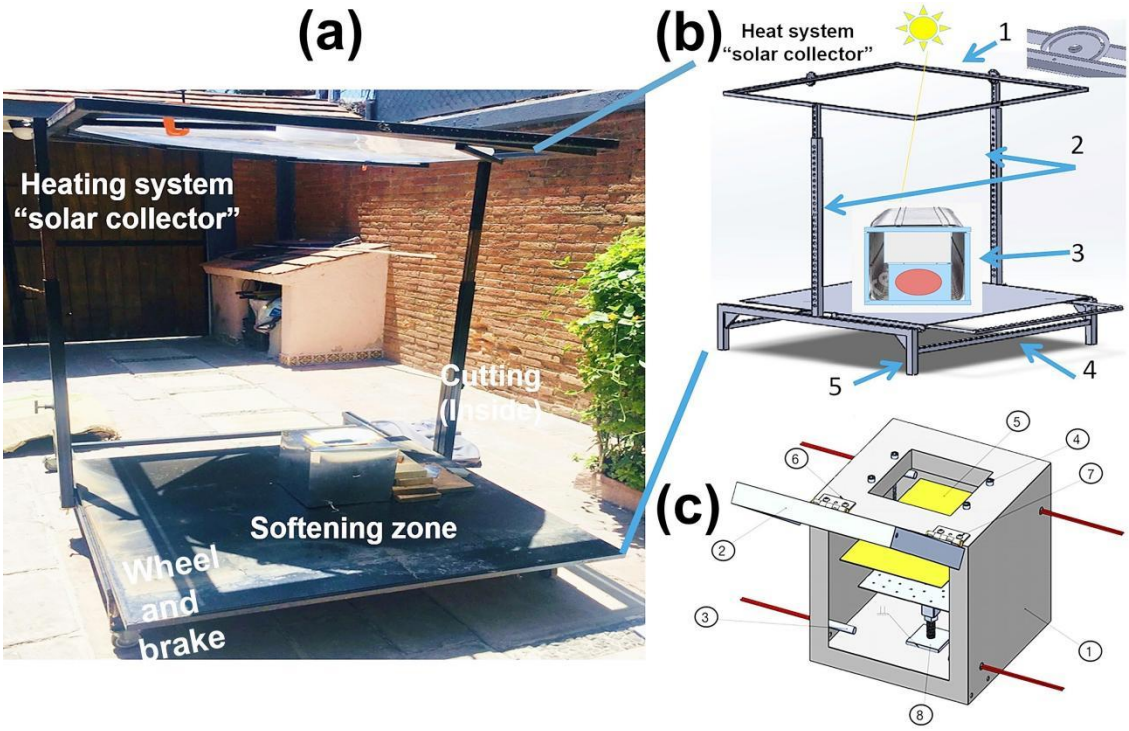


Figura 43 Dispositivo manufacturado, 43a) el dispositivo completo, 43b) señala los soportes en las esquinas, 43c) señala el segundo poste de alturas.

Posteriormente se realizaron las pruebas de funcionamiento, las cuales se evalúan mediante un diseño de experimentos DDE. La tabla 10 muestra el planteamiento que se introdujo en el software minitab V14 ; DDE de 2 factores (ángulo y altura), 2 puntos centrales y una repetición, dando un total de 10 corridas o experimentos.

Tabla 10 Planteamiento del diseño de experimentos

Factores:	2	Diseño de la base:	2, 4	Factor	Nivel +	Nivel -
Corridas:	10	Réplicas:	2	Ángulo	35/30	20/19
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	2	Altura cm	100	110

La variable de salida “Y” que se evalúa es el diámetro del foco de radiación. El objetivo de estas pruebas es evaluar en que porcentaje las dos variables de ajuste del dispositivo

servirán para controlar el diámetro, lo esperado si el diseño es el adecuado, es que sirvan para controlarlo al menos en un 80%. (el resultado final fue de un 99.98%)

Tabla 11 Plan de experimentación con los diámetros obtenidos

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Ángulo	altura	Y=Diámetro
1	1	1	1	20/19	100	870
4	2	1	1	35/30	110	357
6	3	1	1	35/30	100	1170
8	4	1	1	35/30	110	355
2	5	1	1	35/30	100	1165
10	6	0	1	27/25	105	950
9	7	0	1	27/25	105	955
3	8	1	1	20/19	110	1168
7	9	1	1	20/19	110	1170
5	10	1	1	20/19	100	865

La tabla 11 muestra el plan de experimentación que da el software y donde se capturan los valores del diámetro obtenido. Para interpretar la tabla ir al anexo 2A donde se detalla el significado de cada columna. La tabla 12 muestra el análisis de varianza ANOVA realizado mediante el software, cuando el parámetro P resulta menor al valor de α o del error (Todo este análisis es realizado con un error de α=0.05) , el factor está impactando el resultado, en este caso tanto el ángulo, la altura y la interacción de estos están afectando, por lo tanto se puede decir con una seguridad del 95% que estos factores determinan el diámetro del foco de radiación que se obtiene. Para interpretar la tabla ir al anexo 2B donde se detalla el significado de cada columna.

Tabla 12 Análisis de varianza para diámetro

	FD	SM	F	P
Model	4	221817	26724.97	0.00
Linear	2	130817	15761.11	0.00
angle	1	131585	15853.55	0.00
height	1	130050	15668.67	0.00
Interactions	1	619384	74624.64	0.00
angle*height	1	619384	74624.64	0.00
Curvature	1	6250	753.01	
MS	5	8		
Total	9			

El software hace un análisis gráfico, la gráfica de pareto, muestra en orden de importancia los factores que están afectando, como se puede observar es la misma para el ángulo y para la altura teniendo una mayor afectación la interacción de ambas, ver figura 44.

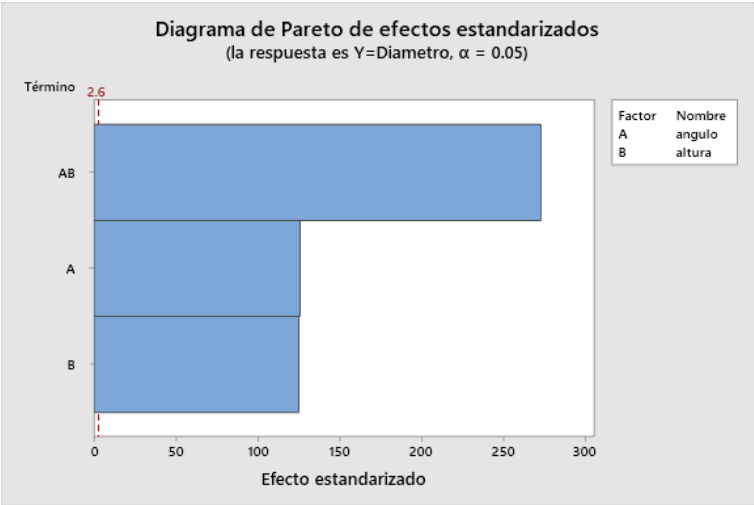


Figura. 44 Diagrama de Pareto para diámetro

Esta interacción se corrobora mediante un análisis de interacciones donde el cruce de las líneas se interpreta como una interacción entre las dos variables. La gráfica de cubo muestra

la combinación más adecuada para obtener el rango de diámetro que se busca. Ver figura 45 y 46.

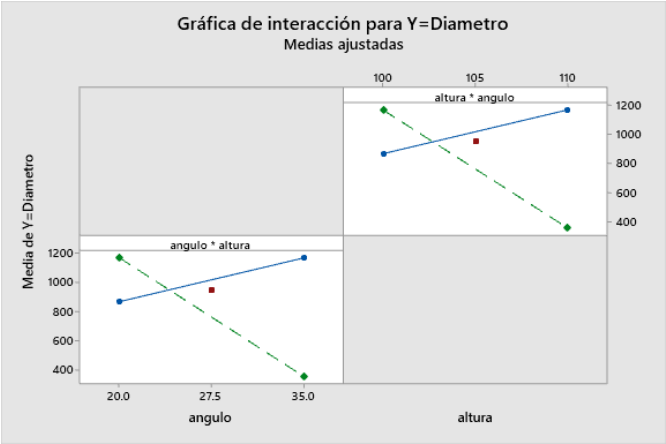


Figura 45 Gráfica de interacciones para diámetro

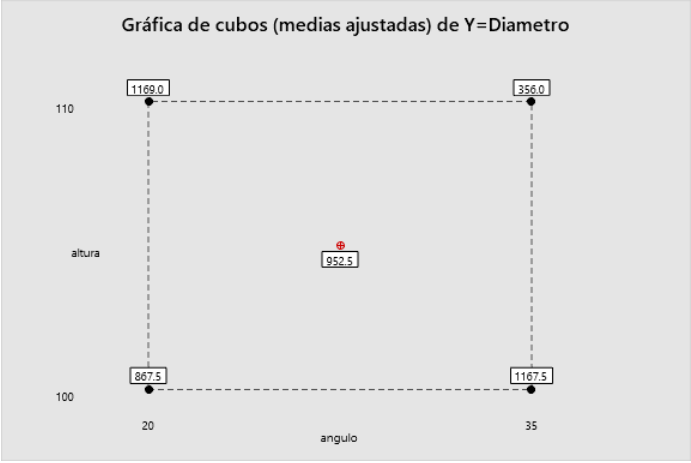


Figura 46 Gráfica de cubo para diámetro

Tabla. 13 Valor de R del modelo que resulta con las variables evaluadas

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.88097	100.00%	99.99%	99.98%

La tabla 13 muestra el valor de R del modelo que resulta con las variables evaluadas e indica que tanto el ángulo como la altura determinan en un 99.98% el resultado del diámetro del foco de radiación. Como conclusión de este análisis, se puede observar que los factores considerados en el diseño del dispositivo (altura y ángulo) los cuales fueron evaluados en el DDE, serán lo que determinen el diámetro del foco. Se observó que, de acuerdo a posición

de sol, la variación de ángulos del lente se tiene en intervalos de 20°, lo cual es proporcionado por la posibilidad de manipulación del soporte en los ejes. Las distancias del lente a la muestra permiten trabajar temperaturas que van de los 200°C a mayores de 1000°C, dependiendo de la intensidad de radiación solar dadas por las condiciones climáticas.

Nota: Los resultados fueron evaluados a condiciones ambientales constantes; Temperatura 22°C, Humedad relativa 25%, Velocidad Viento 11.9km/h, Radiación 5.4 kWh/m^2

4.2.1.2 Zona de ablandamiento

El planteamiento del subproceso que llamamos Zona de ablandamiento se muestra en la figura 47.

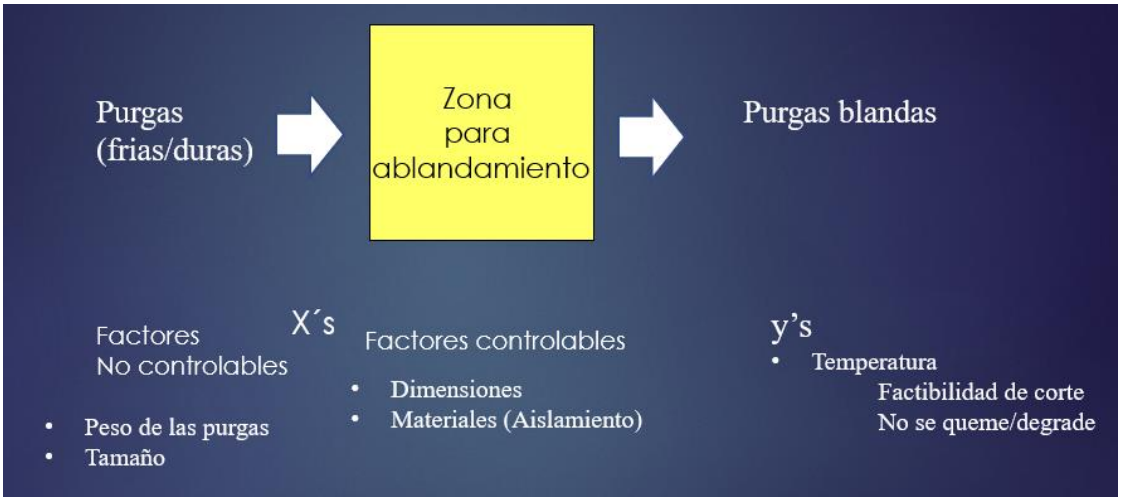


Figura 47 Diagrama "P" Zona de ablandamiento

Lo primero que se determinó para este subproceso fue que la radiación no sería directa sobre la purga, debido a la dificultad para controlar la temperatura, esto implica la necesidad de un medio para mover el calor logrado por el colector hacia la zona de ablandamiento, en el estado del arte se encontró el uso de termofluídos adicionados con partículas de carbono y el aire como medios de transporte del calor. Derivado de un análisis de costos, adquisición de material adicional, generación de residuos por influencia de calentamiento que implicaba

el uso de termofluidos se descarta y se considera el calentamiento de aire dentro de un reservorio. El estudio para el diseño de este proceso se realizó en varias etapas.

A.- Se evalúa el comportamiento de algunas de las purgas en un horno de aire caliente (lo más cercano al concepto planteado).

B.- Si se obtienen resultados positivos en la etapa A se toma como punto de partida el diseño del horno eléctrico para plantear el diseño de la zona de ablandamiento.

C.- Se Manufactura, evalúa y de ser necesario se ajusta el proceso o los dispositivos

Los resultados que se obtuvieron son:

A.- En la evaluación del comportamiento de las purgas en un horno de aire caliente eléctrico, se usó una freidora de aire marca Ninja modelo AF100, base programable de 1550 watts, Capacidad de 3.2 litros, temporizador de 60 minutos, control de temperatura, cocción rápida de hasta 400 ° C

En general se observó que las purgas se ablandan a un tiempo relativamente corto; el resumen de esta prueba se muestra en la tabla 14.

Tabla 14 Resultados etapa "A"

Muestra	Tamaño aprox. cm	tempertaura /horno °C	tiempo p/ablandar Min	
PC/PP/ABS	3*4*2	400	5 min	
PP/ABS	3*4*2	400	5 min	

Los resultados se consideran positivos y se toma como base el diseño del horno eléctrico, que se compone por una fuente de calor, un ventilador que lo distribuye y una zona donde se colocan el material de interés.

Para este proyecto el concepto es similar al horno, tiene un espacio para colocar la purga (caja), la resistencia como fuente de calor es sustituida por una placa receptora de la radiación solar y el medio para distribuirlo es un ventilador. Se consideraron varios aspectos:

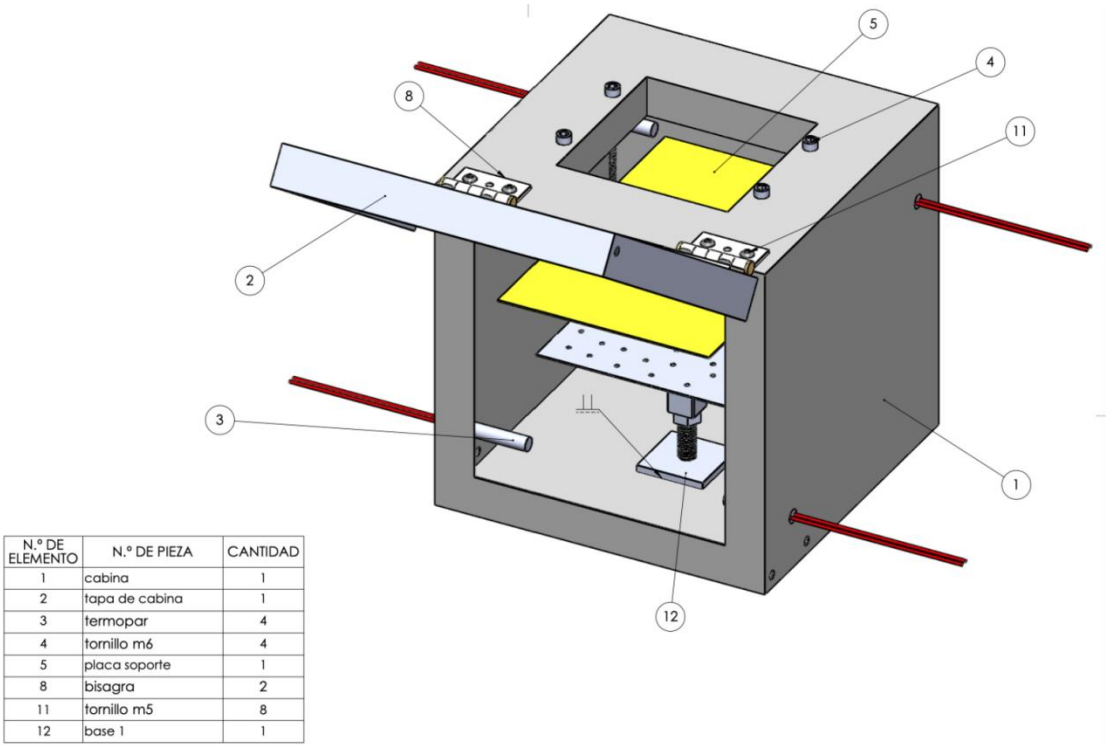
Material de la caja, dimensiones, posición del ventilador, material del receptor de la radiación solar y la ubicación de este último.

Por sus características y facilidad de adquisición, los materiales seleccionados fueron aluminio para la caja y cobre como el receptor de la radiación colectada, en la tabla 15 se muestran dichas características.

Tabla 15 Propiedades de los materiales usados

	COBRE	ALUMINIO
Densidad	8960 kg/m3	2698.4 kg/m3
Punto de fusión	1357.77 K	933.47 K
Punto de ebullición	3200 K	2792 K
Conductividad térmica	400 W/(K·m)	237 W/(K·m)

El dispositivo diseñado y construido para el calentamiento de las purgas se muestra en la figura 48.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	cabina	1
2	tapa de cabina	1
3	termopar	4
4	tornillo m6	4
5	placa soporte	1
8	bisagra	2
11	tornillo m5	8
12	base 1	1

Figura 48 Reservorio de calor para el ablandamiento

Como se puede ver en la figura 48 la placa receptora de radiación se coloca en la parte superior de la caja (5), esta es soportada por medio de cuatro tornillos (4) que a su vez

permiten variar la distancia entre la placa y la muestra, la base donde se colocara la purga (12) es giratoria y tiene orificios que permiten el flujo de aire en toda esta, las líneas rojas (3) representa la colocación de termopares (o termómetros) que nos estarán indicando la temperatura. El resto es parte de la caja la cual cuenta con una puerta o tapa para aislar el calor Una vez manufacturado el reservorio de calor, se evalúa su funcionamiento y se realizan los ajustes necesarios. Se realiza en dos etapas 1.- En conjunto con el sistema de captación solar 2.- Evaluando los componentes más relevantes.

1.- Para evaluar la funcionalidad e interacción del sistema de captación solar y la zona de ablandamiento se realiza un análisis de correlación entre: A.- La distancia entre la posición del lente fresnel y la placa receptora a la que se llama altura (X) y el diámetro del foco de radiación sobre esta placa (Y1). B.-La altura (X) y la temperatura en el interior de la zona de ablandamiento o base de las muestras (Y2).

El objetivo en ambos estudios fue:

.- Determinar si hay correlación entre estas variables XvsY1, XvsY2 y encontrar la función matemática Y=f(x) que modele esta relación (siempre que esta tenga una factor R mayor a 80%).

.- Encontrar a que valor de X se logra la temperatura más elevada, entendiendo que esta depende además de las condiciones climáticas y el tiempo de exposición. La tabla 16 muestra los resultados obtenidos.

Condiciones del experimento:

Temperatura ambiente: 29 °C

Humedad relativa: 34.8 %

Presión: 1023 hPa

Potencia solar: 1350 W/m2

Velocidad Viento:29.6 km/h2

Tiempo de exposición: 1 minuto

Material receptor: placa de cobre

Variable independiente: X=Altura

Variable dependiente: Y1= diámetro del foco de radiación

Y2= temperatura

Tabla 16 Resultados para la correlación

Altura cm	Diámetro cm	Temp. °C
71.5	52	40
83.3	45	60
95.3	38	80
107	28	200
119.5	22	200

El análisis de los resultados se realiza con el software minitab V14.

Análisis de altura vs diámetro (X vs Y1)

Este análisis en con el el fin de encontrar el modelo matemático que describa la relación que existe entre la altura del dispositivo y el diámetro del foco de radiación. Este modelo además de explicar la relación entre estas dos variables se puede usar para automatización de este proceso.

Tabla 17 ANOVA, Altura vs diámetro

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	592.333	592.333	484.54	0
Error	3	3.667	1.222		
Total	4	596			

La tabla 17 muestra el análisis de varianza ANOVA. Tomando en cuenta el valor de P, el cual es menor al valor del error estadístico $\alpha = 0.05$

$$P=0 < \alpha=0.05$$

Se concluye que el diámetro Y1 depende directamente de la altura X.

Para la interpretación de la tabla de ANOVA ir al anexo 2B donde se detalla el significado de cada columna.

La correlación que tienen X vs Y1 se puede ver gráficamente en la figura 49.

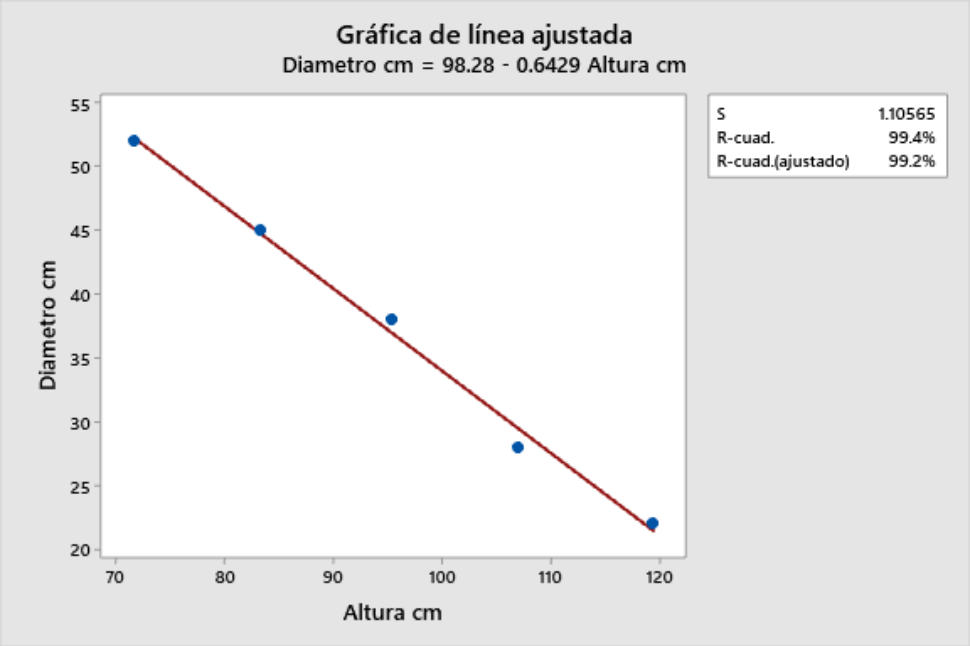


Figura 49 Correlación entre altura y diámetro

A mayor altura X el diámetro del foco de radiación disminuye de manera lineal. Con un valor de ajuste R= 99.2% y una varianza de 1.10, como la relación tiene un factor mayor al 80%, el modelo matemático es válido. Se propone la relación de la ecuación 4.

Diámetro(cm) = 98.28 - 0.6429 (Altura (cm)) Ec 4

Análisis Para la correlación altura - temperatura

Este análisis en con el fin de encontrar el modelo matemático que describa la relación que existe entre la altura del dispositivo y la temperatura que se alcanza en el reservorio. Este modelo además de explicar la relación entre estas dos variables se puede usar para automatización de este proceso. La tabla 18 muestra el análisis de varianza ANOVA.

Tabla 18 ANOVA, Altura-temperatura

Fuente	GL	MC	F	P
Regression	1	21082	19.54	0.022
Altura cm	1	21082	19.54	0.022
Error	3	1079		
Total	4			

Tomando en cuenta el valor de P, el cual es menor al valor del error estadístico α = 0.05

$$P=0.022 < \alpha=0.05.$$

Se concluye que la temperatura Y2 depende directamente de la altura X. Para la interpretación de la tabla de ANOVA ir al anexo 2B donde se detalla el significado de cada columna. La correlación que tienen XvsY2 se puede ver gráficamente en la figura 50.

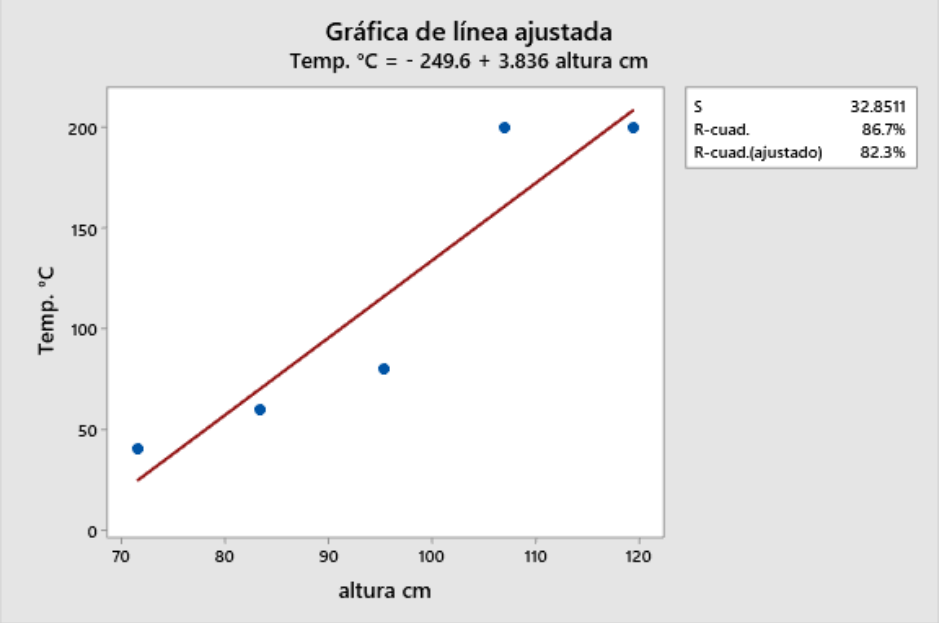


Figura 50 Correlación entre altura y temperatura

A mayor altura X la temperatura aumenta de manera lineal. Con un valor de ajuste R= 82.3% y una varianza de 1.10, como la relación tiene un factor mayor al 80% el modelo matemático es válido. Se propone la siguiente relación

Temp. (°C)= -249.6 + 3.836 (altura (cm))

Usando la ecuación de predicción se encuentra que la altura que maximiza la temperatura es alrededor de 120 cm. Acorde a los orificios que regulan la altura se usa en las pruebas subsecuentes 122 cm aprox.

2.- Evaluando los componentes más relevantes de la Zona de ablandamiento

Se observan dos elementos de relevancia para el alcance y control de temperatura 1.- El uso del ventilador 2.- El material de la placa receptora de la radiación.

Mediante un diseño de experimentos se evalúan estos factores, determinando el impacto sobre la temperatura alcanzada en 4 puntos de la caja y encontrando la condición que maximice la temperatura en la posición de la base o posición central (que acorte el tiempo para reblandecer la purga). La tabla 19 muestra el planteamiento del DDE que se introdujo en el software minitab V14

Tabla 19 Planteamiento del diseño de experimentos

Factores:	2		Diseño de la base:	2,4		Factor	Nivel +	Nivel -
Corridas:	8		Réplicas:	2		Ventilador	con	sin
Bloques:	1		Puntos centrales (total):	0		Material receptor	cobre	Lámina de acero

DDE: 2 factores (ventilador y material receptor), dos replicas, sin puntos centrales y todo en un solo bloque, dando un total de 10 corridas o experimentos.

Condiciones del experimento:

Temperatura ambiente: 18ºC

Humedad relativa: 63.6 %

Presión: 1025 hPa

Potencia solar: 952 W/m2

Velocidad Viento: 0 km/h2

Tiempo de exposición: 2 minutos

X1= Ventilador, evaluando el uso o no uso de este

X2= Material de la placa receptora, evaluando cobre y lámina de acero

Variable dependiente:

Y1= Temperatura posición superior derecha

Y2= Temperatura posición central

Y3= Temperatura posición superior izquierda

Y4= Temperatura posición inferior izquierda

Y5= Temperatura posición inferior derecha

La posición de los termómetros de uno de los laterales y del centro (el otro lateral tiene la misma posición) y B el ventilador. Ver figura 51.



Figura 51 Posición de los termómetros y ventilador

Resultados del DDE

La tabla 20 muestra el plan de pruebas con los resultados obtenidos.

Tabla 20 Plan de experimentación con las temperaturas obtenidas

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	ventilador	material receptor	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
7	1	1	1	sin	lámina	74	98	79	84	90
8	2	1	1	con	lámina	74	78	72	72	82
5	3	1	1	sin	cobre	110	130	104	90	106
4	4	1	1	con	lámina	76	76	76	80	90
2	5	1	1	con	cobre	92	80	80	72	80
6	6	1	1	con	cobre	90	82	80	74	80
1	7	1	1	sin	cobre	120	130	110	88	100
3	8	1	1	sin	lámina	86	104	86	94	100

Para interpretar la tabla ir al anexo 2A donde se detalla el significado de cada columna.

Análisis para Y1= Temperatura posición superior derecha

En la tabla 21 se muestra el análisis de varianza ANOVA. Considerando el valor del estadístico P, Ventilador P= 0.022, Material receptor P= 0.003, son menor al error estadístico $\alpha = 0.05$ con lo cual se concluye que ambas variables influyen de manera lineal en la temperatura obtenida en la posición Y1. La interacción de estas P= 0.075 está por arriba del error por lo tanto no existe interacción.

Tabla 21 ANOVA Y1

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	1901.5	633.83	20.12	0.007
Linear	2	1721	860.5	27.32	0.005
ventilador	1	420.5	420.5	13.35	**0.022**
material receptor	1	1300.5	1300.5	41.29	**0.003**
2-Way Interactions	1	180.5	180.5	5.73	0.075
ventilador*material receptor	1	180.5	180.5	5.73	0.075
Error	4	126	31.5		
Total	7	2027.5			

La gráfica de pareto muestra que el tipo de material receptor tiene una mayor influencia sobre Y1 figura 52.

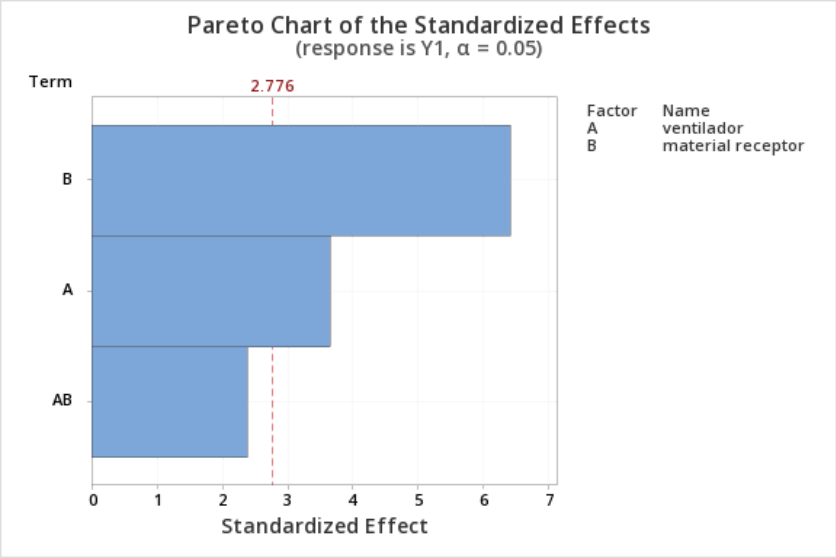


Figura 52 Gráfica de Pareto para Y1

Estos resultados también se pueden apreciar en gráfica de efectos principales y de interacciones figura 53.

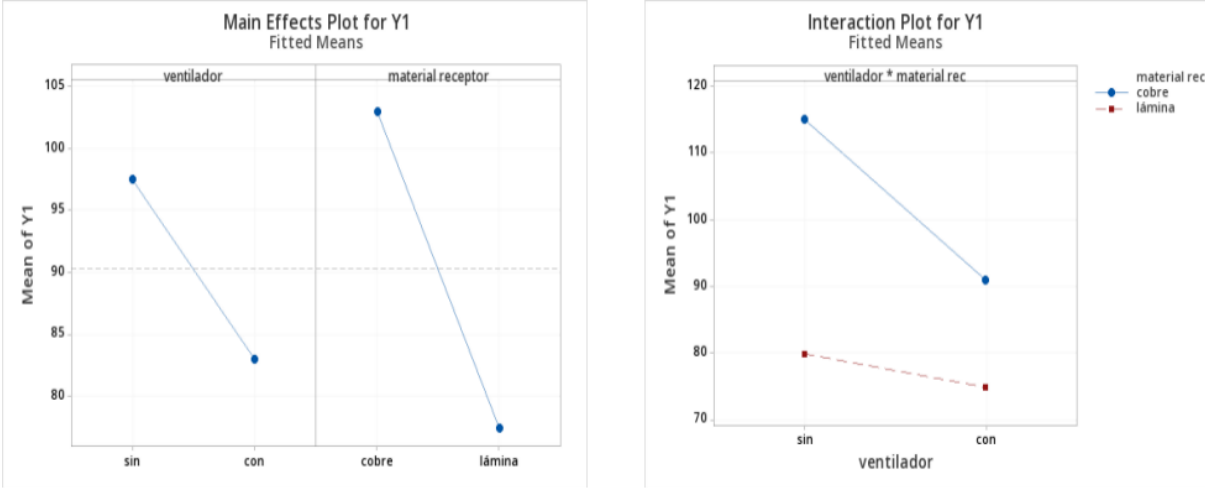


Figura 53 Gráfica de Efectos principales y de interacciones para Y1

Este mismo análisis se realiza en las 4 posiciones restantes, el detalle se encuentra en el anexo 3. La tabla 22 muestra el resumen de las conclusiones.

Tabla 22 Resumen de resultados de temperatura, en las posiciones de Y

	Ventilador	material	Interacción	X'S con mayor influencia	mejor combinación	
					X1	X2
Y1= Temperatura posición superior derecha	si	si	no	material	sin	cobre
Y2= Temperatura posición central	si	si	si	ventilador	sin	cobre
Y3= Temperatura posición superior izquierda	si	si	si	ventilador	sin	cobre
Y4= Temperatura posición inferior izquierda	si	no	si	ventilador	sin	igual
Y5= Temperatura posición inferior derecha	si	no	no	ventilador	sin	igual

La primera columna indica la Y, las 2-4 indican si el factor X_n o la interacción de estos influyen en el resultado de la Y, la 5 indica cuál de las X's tiene mayor influencia y las últimas dos columnas indican la combinación con la cual se obtiene la mayor temperatura.

Se puede decir que en la zona central y superior la temperatura se ve afectada por el tipo de material receptor y el uso o no del ventilador, en la parte inferior solo afecta el uso o no del ventilador.

Para evaluar la configuración que maximice la temperatura se considera solo la variable Y2 del área central que es donde se coloca la muestra, el resultado se muestra en la figura 54.

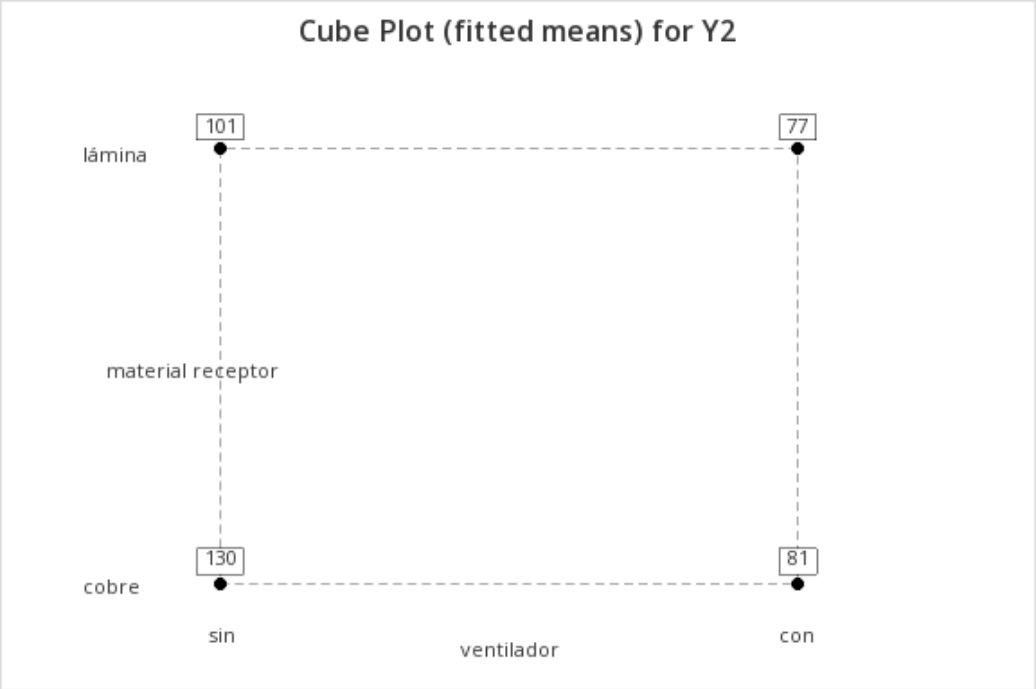


Figura 54 Gráfica de cubo Y2 (posición central)

Como se puede observar el arreglo donde se obtiene la temperatura más alta es:

Material receptor= Cobre

Ventilador= Sin ventilador

El grafito es un material de bajo coeficiente de expansión térmica, ideal para aplicaciones de alta temperatura tiene una alta conductividad térmica y es inerte al ataque químico, por lo que se determina comparar contra el cobre como material receptor. Se evalúan ambas placas a las mismas condiciones ambientales, tomando la temperatura que se alcanza a diferentes tiempos, la figura 55 muestra los resultados obtenidos.



Figura 55 temperaturas obtenidas con placa de cobre vs grafito

Aunque la placa de grafito mostró buena estabilidad a la radiación solar, las temperaturas alcanzadas al interior de la caja son considerablemente más altas con cobre.

A fin de realizar una prueba de validación de la información que se obtuvo en los análisis realizados a los procesos de sistema de captación solar y zona de ablandamiento, se colocó la purga PP/ABS en la base y bajo las condiciones determinadas; distancia entre el lente y la placa receptora 1.22 m, placa receptora de cobre, sin usarse ventilador, se puso en funcionamiento todo el proceso

Condiciones de prueba:

Tamaño de la purga 5cm por lado aprox.

Temperatura ambiente: 21ºC

Humedad relativa: 46.7 %

Presión: 1025 hPa

Potencia solar: 960 W/m^2

Velocidad Viento: 14.8 km/h^2

Se evalúa la temperatura y el tiempo en que se logre reblandecer la purga y si es factible realizar el corte.

Resultados:

Temperatura y tiempo de reblandecimiento: 180ºC, 15 minutos

La purga se retira de la zona de ablandamiento (totalmente reblandecida) a los 20 minutos con una temperatura alcanzada de 200ºC,

La purga se puede cortar fácilmente

La figura 56 muestra el antes y después, así como el corte realizado.



Figura 56 Purga antes y después de reblandecer

4.2.1.3 Proceso de Corte

El diagrama P de este proceso se muestra en la figura 57

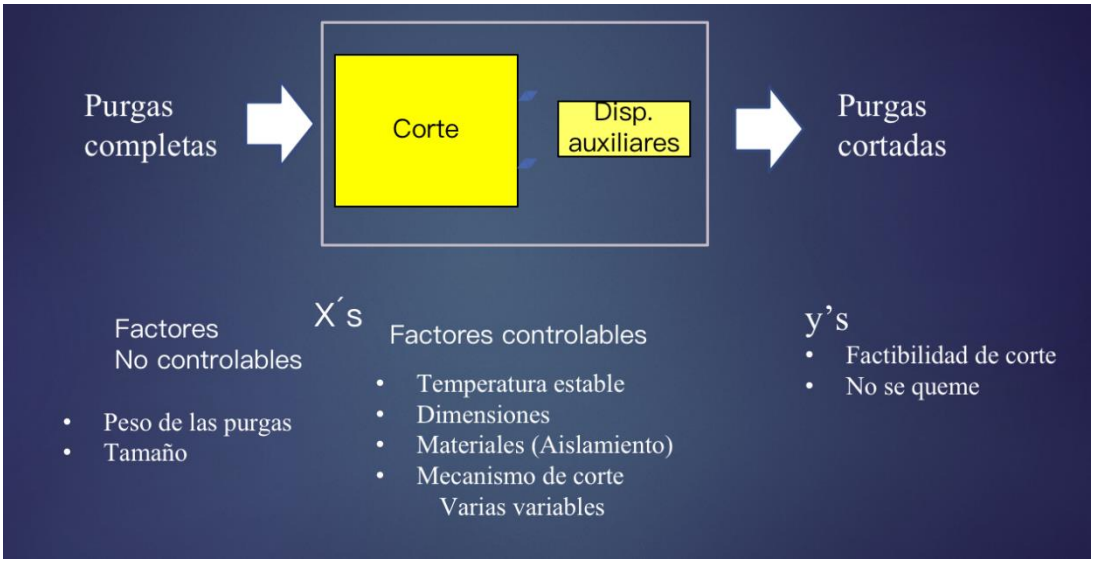


Figura 57 Diagrama "P" del proceso de corte

Este proceso será evaluado en conjunto con los 2 procesos previos a las condiciones ya determinadas.

Se evalúan 3 aditamentos de corte distintos

1.- Con un cuchillo estándar simulando el corte de cizalla.

2- Con sierra manual

3- Con sierra eléctrica

La evaluación se realiza de manera cualitativa, con el fin de que esta sea objetiva, se usa la herramienta Matriz de Pugh, la cual permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional (una matriz de decisiones) tabla 23.

Tabla 23 Matriz de Pugh

Criterios	Cizalla	Sierra eléctrica	Sierra Manual	Peso	Cizalla	Sierra eléctrica	Sierra Manual
Que se pueda realizar el corte	0	0	-1	10	0	0	-10
Corte Homogéneo	1	-1	0	5	5	-5	0
Dificultad de instalación	1	-1	1	5	5	-5	5
Costo	1	-1	1	7	7	-7	7
Requerimientos de mantenimiento	0	0	0	5	0	0	0
				suma ponderada	17	-17	2
				RANKING	**1**	**3**	**2**

La primera columna indica los criterios de decisión y el primer renglón, las opciones de diseño para el corte, se toma la alternativa de diseño y se analiza criterio por criterio, asignando un "+1", si esta alternativa es la mejor opción, un "-1" si es la menos optima y si está en un término medio un "0". Una vez completada toda la tabla, cada calificación dada se multiplica por el peso (últimas 3 columnas), que es la importancia que se le da a cada criterio. Finalmente, con la suma de cada columna se ponderan las opciones, siendo la numero uno la mejor. Para el tipo de corte la mejor opción es el que se realiza con cizalla. La figura 58 muestra el tiempo del corte; A) con cuchilla, B) con sierra eléctrica, C) con sierra manual.

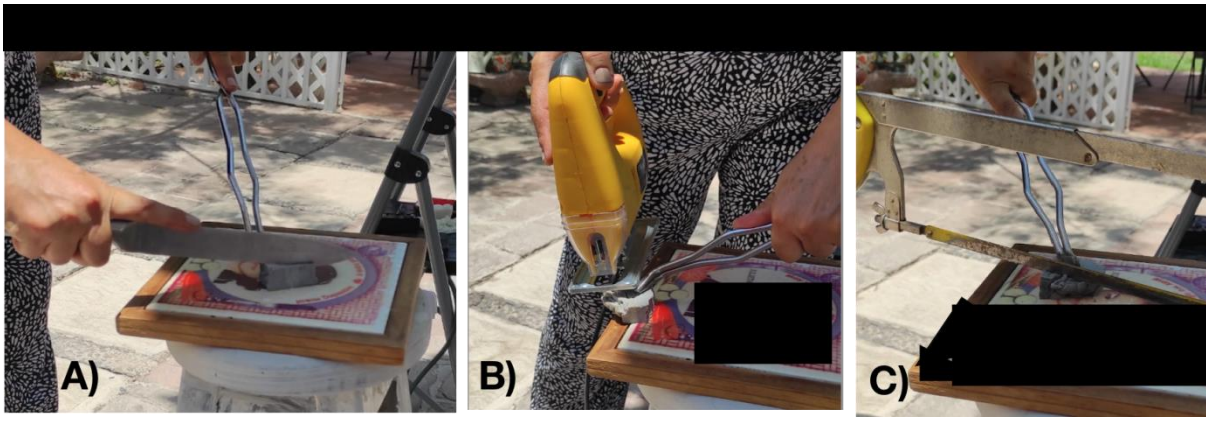


Figura 58 Corte A) Cuchilla, B) Sierra eléctrica, C) Sierra manual.

Observaciones adicionales:

El corte con sierra manual o eléctrica hace un corte muy irregular de tal forma que no es seguro que los pedazos de purga caigan en el contenedor, lo que implicaría el uso de otros dispositivos. Ver figura 59.



Figura 59 Corte con Sierra

El corte debe efectuarse en el mismo reservorio de calor, debido a que todos los tipos de purgas evaluados se enfrían muy rápido y vuelven a endurecerse, se desarrolla un proceso automatizado en 5 pasos:

Paso 1 Cuando el termopar (ubicado en la base de la muestra) alcanza la temperatura de ablandamiento (de acuerdo al tipo de purga) envía señal al pistón izquierdo para que este entre y empuje la muestra hasta el tope del pitón derecho.

Paso 2 Una vez ubicada la muestra en los topes, baja cizalla para realizar el corte.

Paso 3 una vez hecho el corte la cizalla regresa arriba y pistón izquierdo regresa a su posición original, la pieza cortada cae en charola contenedora (fuera de la caja).

Paso 4 El pistón derecho hace un recorrido para ubicar a la muestra al centro y se regresa a su posición original.

Paso 5 La base gira 90º y se repite paso 1.

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones generales

Las purgas de inyección de plástico tienen muchos tamaños y formas irregulares que requieren cambiarse para ser recicladas y reintegradas a las cadenas de suministro de polímeros. Para esto, es importante conocer sus características, propiedades, comportamiento y agrupamiento por tipo de polímero. Las purgas de inyección de frecuencia son mezclas de polímeros procesados que son difíciles de reciclar. Este trabajo propone un proceso y un dispositivo prototipo para ablandar y cortar las purgas de inyección utilizando calentamiento solar sin presentar modificaciones importantes a las propiedades independientemente del tipo de mezcla presente.

Las propiedades térmicas se evaluaron utilizando las técnicas de ensayo a la flama, TGA y DSC. Los resultados concluyentes son que ninguna de las purgas tiene perdidas durante el calentamiento, los cinco tipos de polímeros estudiados pueden estirarse y sus temperaturas de ablandamiento se presentaron entre 250 °C y 280 °C, temperaturas comunes dentro de la manufactura de estos materiales. Una vez que todas las purgas evaluadas se ablandaron, se cortaron con relativa facilidad. Visualmente, no se observó humo al alcanzar una condición blanda. Con esta información, se diseñó un proceso y un dispositivo que opera con energía solar para cortar las purgas sin exceder la temperatura de degradación, que variaba dependiendo del tipo y cantidad de polímeros. Finalmente, se evaluaron las propiedades mecánicas de dureza y módulo de Young, y se realizaron los ensayos FTIR antes y después del ablandamiento y corte.

Las comparaciones de las propiedades mecánicas de las purgas antes y después de los tratamientos mostraron una ligera afectación en la mayoría de ellas,mostrando un intervalo de variación iguan o menor al 5%. En general, no se tuvo descomposición de la cadena polimérica. Se recomiendan mejoras adicionales tanto en el proceso como en el dispositivo. Aún así, este trabajo muestra la viabilidad potencial del calentamiento por energía solar para el ablandamiento y corte de las purgas de inyección que constituyen un residuo de rápido crecimiento de la industria del plástico, lo que las convierte en un subproducto a reprocesar.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el objetivo general se cumple. La figura 37 muestra los procesos y la interacción de estos. La figura 60 muestra los sistemas y subsistemas que componen todo el diseño, su función y los dispositivos diseñados.

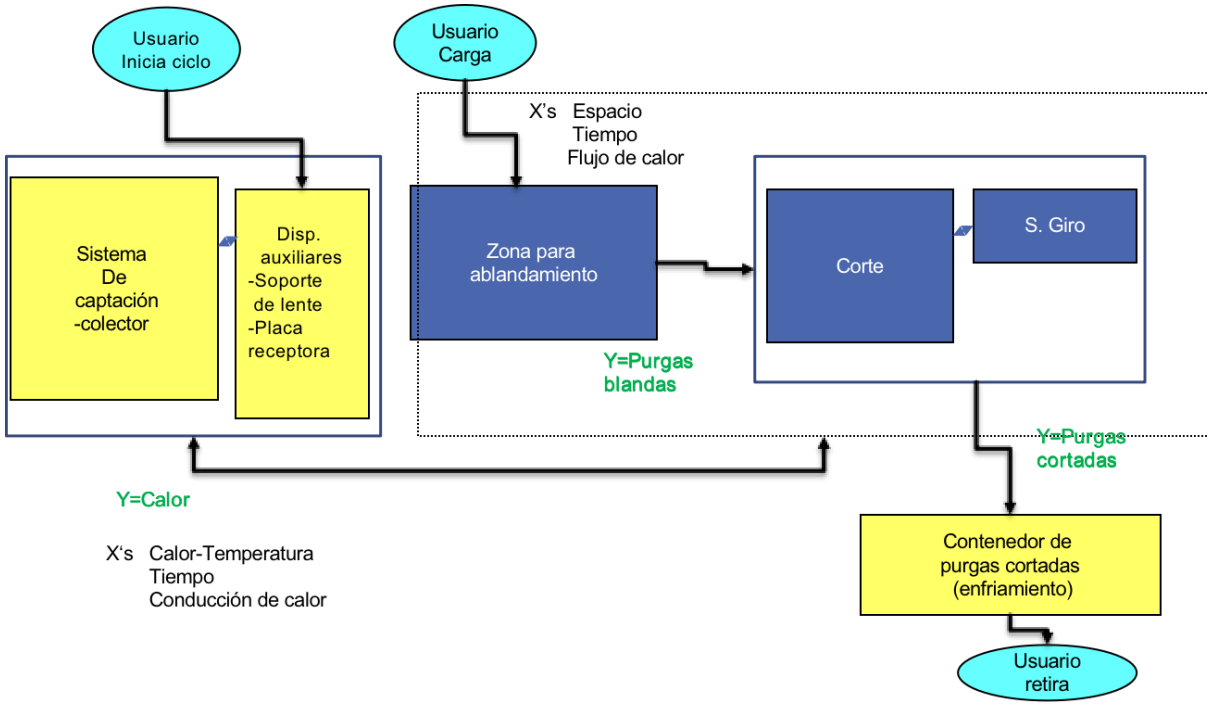


Figura 37 Mapa de procesos

Sistemas y subsistemas críticos que integran el diseño	Descripcion de la funcion	Dispositivos diseñados
1.- Sistema de captacion del calor solar (Colector)	Conversión de la radiación solar en calor	Colector solar Fresnel
Dispositivos auxiliares		
2.- Zona de calentamiento	Ablandar las purgas, mantener la temperatura alcanzada para este fin	Horno aire caliente
Dispositivos auxiliares		
3.- Sistema de Corte	Realizar el corte	Cizalla
Dispositivos auxiliares		
4.- Contenedor de purgas cortadas	Recibir y contener los cortes de purga	Charola



Figura 60 Sistemas y subsistemas que componen la propuesta de solución

En conclusión, la propuesta está integrada por cuatro procesos y sus dispositivos auxiliares que interaccionan de la siguiente forma: Un sistema de captación y concentrador solar, integrado por una lente Fresnel, un dispositivo mecánico con bastidores donde se coloca el lente y que dan el movimiento angular para dar el seguimiento solar y dos postes para ajustar las alturas, el modelo matemático que permite relacionar la altura con la temperatura que se logra alcanzar es:

Temperatura (ºC)= -249.6 + 3.836 (altura (cm))

Para el modelo evaluado la altura que maximiza la temperatura es alrededor de 1.22mts.

El calor generado es transmitido a una zona de ablandamiento la cual que está diseñada con una placa receptora de cobre y una base donde se colocan las purgas, para el tamaño del prototipo no es necesario el ventilador que mueva el calor en toda la zona pero es relevante en tamaños mayores.

Una vez que la purga alcanza su temperatura de ablandamiento se realiza el corte con cuchilla (cizalla) y las piezas cortadas caen por gravedad a un contenedor (charola) fuera del reservorio de calor.

REFERENCIAS

Accomandita Spa | Tecnologie speciali al servizio dell'energia. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from http://www.accomandita.com/

An experimental investigation on the effect of Al2O3–H2O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v39y2012i1p293-298.html

Arandes Esteban, J., Bilbao Elorriaga, J., & López Valerio, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, *5*(1), 3.

Artículos escritos por Manuel Planelles | EL PAÍS. (n.d.). Retrieved November 12, 2019, from https://elpais.com/autor/manuel_planelles/a

Barlev, D., Vidu, R., & Stroeve, P. (2011). Innovation in concentrated solar power. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *95*, 2703–2725. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.05.020

Bellos, E., & Tzivanidis, C. (2018). Multi-criteria evaluation of a nanofluid-based linear Fresnel solar collector. *Solar Energy*, *163*(October 2017), 200–214. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.02.007

Borode, A., Ahmed, N., & Olubambi, P. (2019). A review of solar collectors using carbon-based nanofluids. *Journal of Cleaner Production*, *241*, 118311. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118311

Bose-O'Reilly, S., Edlinger, M., Lagally, L., Lehmann, H., Lob-Corzilius, T., Schneider, M., … Schoierer, J. (2022). Health effects of climate change – Are they sufficiently addressed in pediatric settings in Germany to meet parents' needs? The Journal of Climate Change and Health, 6, 100129. https://doi.org/10.1016/J.JOCLIM.2022.100129

Cambio climático y centrales termosolares. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from https://www.eoi.es/blogs/open/cambio-climatico-y-centrales-termosolares/

Chaukura, N., Gwenzi, W., Bunhu, T., Ruziwa, D. T., & Pumure, I. (2016). Potential uses and value-added products derived from waste polystyrene in developing countries: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, *107*, 157–165.

https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.031

Chohan, J. S., & Singh, R. (2021). Thermosetting Polymers: A Review on Primary, Secondary, Tertiary and Quaternary Recycling. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00116-4

Conde, M. (2012). *Presente Futuro de la Industria del Plástico en México Contenido*. http://www.ptq.pemex.gob.mx/productosyservicios/ev. Retrieved from http://www.ptq.pemex.gob.mx/productosyservicios/eventosdescargas/Documents/Foro PEMEX Petroqumica/2012/03 Mercado plsticos 2012.pdf

Creus Solé, A. (2010). *Energía termosolar*. 194.

Cubukcu (Çubukçu), N., & Tari, I. (2022). Buildings sector from a sustainable carbon constrained energy generation perspective. Energy and Buildings, 259, 111865. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2022.111865

Data.GISS: GISS Surface Temperature Analysis (v3): Analysis Graphs and Plots. (n.d.). Retrieved November 12, 2019, from https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/

Earth's CO2 Home Page. (n.d.). Retrieved November 12, 2019, from https://www.co2.earth/

Ekholm, T., Soimakallio, S., Moltmann, S., Höhne, N., Syri, S., & Savolainen, I. (2010). Effort sharing in ambitious, global climate change mitigation scenarios. *Energy Policy*, *38*(4), 1797–1810. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.055

En, M., En, C., & Renovables, A. S. (2012). *" PROTOTIPO DE COLECT OR CONCENTRADOR*.

Engeland, K., Borga, M., Creutin, J. D., François, B., Ramos, M. H., & Vidal, J. P. (2017). Space-time variability of climate variables and intermittent renewable electricity production – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 79, pp. 600–617. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.046

Evacuated Tube Collector for Solar Hot Water System. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/evacuated-tube-collector.html

Evangelisti, L., De Lieto Vollaro, R., & Asdrubali, F. (2019). Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *114*(March), 109318. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109318

Fudholi, A., & Sopian, K. (2019, March 1). A review of solar air flat plate collector for drying application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 333–345. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.032

Gu, F., Guo, J., Zhang, W., Summers, P. A., & Hall, P. (2017). From waste plastics to industrial raw materials: A life cycle assessment of mechanical plastic recycling practice based on a real-world case study. *Science of the Total Environment*, *601–602*, 1192–1207. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.278

Gu, L., & Ozbakkaloglu, T. (2016). Use of recycled plastics in concrete: A critical review. *Waste Management*, *51*, 19–42. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.005

Gulland, F. M. D., Baker, J. D., Howe, M., LaBrecque, E., Leach, L., Moore, S. E., … Thomas, P. O. (2022). A review of climate change effects on marine mammals in United States waters: Past predictions, observed impacts, current research and conservation imperatives. Climate Change Ecology, 3, 100054. https://doi.org/10.1016/J.ECOCHG.2022.100054

Han, D., Meng, Z., Wu, D., Zhang, C., & Zhu, H. (2011). Thermal properties of carbon black aqueous nanofluids for solar absorption. *Nanoscale Research Letters*, *6*(1), 457. https://doi.org/10.1186/1556-276X-6-457

Hu, N., Bourdeau, P. E., Harlos, C., Liu, Y., & Hollander, J. (2022). Meta-analysis reveals variance in tolerance to climate change across marine trophic levels. Science of The Total Environment, 827, 154244. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.154244

Imtiaz Hussain, M., Ménézo, C., & Kim, J. T. (2018). Advances in solar thermal harvesting technology based on surface solar absorption collectors: A review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *187*, 123–139. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.07.027

Islam, M. M., Pandey, A. K., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2016, October 15). Recent progresses and achievements in photovoltaic-phase change material technology: A review with special treatment on photovoltaic thermal-phase change material systems. *Energy Conversion and Management*, Vol. 126, pp. 177–204. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.075

Javadi, F. S., Saidur, R., & Kamalisarvestani, M. (2013). Investigating performance improvement of solar collectors by using nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 28, pp. 232–245. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.053

Khandaker, S., Bashar, M. M., Islam, A., Hossain, M. T., Teo, S. H., & Awual, M. R. (2022). Sustainable energy generation from textile biowaste and its challenges: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 157, 112051. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.112051

Kumar, L., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2019). Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects: A review. *Energy Conversion and Management*, *195*(February), 885–908. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.081

Lan, T., Goh, Y. M., Jensen, O., & Asmore, A. S. (2022). The impact of climate change on workplace safety and health hazard in facilities management: An in-depth review. Safety Science, 151, 105745. https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2022.105745

Mohan, A. J., Sekhar, V. C., Bhaskar, T., & Nampoothiri, K. M. (2016). Microbial assisted High Impact Polystyrene (HIPS) degradation. *Bioresource Technology*, *213*, 204–207. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.021

Muraleedharan, M., Singh, H., Suresh, S., & Udayakumar, M. (n.d.). *Directly absorbing Therminol-Al 2 O 3 nano heat transfer fluid for linear solar concentrating collectors*.

Muraleedharan, M., Singh, H., Udayakumar, M., & Suresh, S. (2019). Modified active solar distillation system employing directly absorbing Therminol 55–Al 2 O 3 nano heat transfer fluid and Fresnel lens concentrator. *Desalination*, *457*(February), 32–38. https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.01.024

Murken, L., & Gornott, C. (2022). The importance of different land tenure systems for farmers' response to climate change: A systematic review. Climate Risk Management, 35, 100419. https://doi.org/10.1016/J.CRM.2022.100419

Nasrin, R., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2018). Effect of high irradiation and cooling on power, energy and performance of a PVT system. *Renewable Energy*, *116*, 552–569. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.004

Nowak, B., Pajak, J., Drozd-Bratkowicz, M., & Rymarz, G. (2011). Microorganisms participating in the biodegradation of modified polyethylene films in different soils under laboratory conditions. *International Biodeterioration and Biodegradation*, *65*(6), 757–767. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.04.007

Pavlovic, S., Daabo, A. M., Bellos, E., Stefanovic, V., Mahmoud, S., & Al-Dadah, R. K. (2017). Experimental and numerical investigation on the optical and thermal performance of solar parabolic dish and corrugated spiral cavity receiver. *Journal of Cleaner Production*, *150*, 75–92. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.201

Peña, M. (2015). *Caracterización óptica de concentradores solares*.

Proyecto Solar Payback / Calor Solar para Procesos Industriales. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from https://www.solar-payback.com/?lang=es

Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, *69*, 24–58. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044

Restrepo-Flórez, J. M., Bassi, A., & Thompson, M. R. (2014). Microbial degradation and deterioration of polyethylene - A review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, *88*, 83–90. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.12.014

REVISTA COFEPRIS | Protección y salud. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from http://revistacofepris.salud.gob.mx/n/no9/eneste.html

Ricci, M., Bocci, E., Michelangeli, E., Micangeli, A., Villarini, M., & Naso, V. (2015). Experimental tests of solar collectors prototypes systems. *Energy Procedia*, *82*, 744–751. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.804

Sharma, A. K., Sharma, C., Mullick, S. C., & Kandpal, T. C. (2017). Solar industrial process heating: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *78*(January), 124–137. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.079

Sistemas de fluido térmico: la guía completa | Pirobloc. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from https://www.pirobloc.com/sistemas-de-fluido-termico-la-guia-completa/#cap2

Suman, S., Khan, M. K., & Pathak, M. (2015, September 1). Performance enhancement of solar collectors - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 49, pp. 192–210. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.087

Taylor, R. A., Phelan, P. E., Otanicar, T. P., Adrian, R., & Prasher, R. (2011). Nanofluid optical property characterization: towards efficient direct absorption solar collectors. *Nanoscale Research Letters*, *6*(1), 225. https://doi.org/10.1186/1556-276X-6-225

Thakur, S., Verma, A., Sharma, B., Chaudhary, J., Tamulevicius, S., & Thakur, V. K. (2018).

Recent developments in recycling of polystyrene based plastics. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, *13*, 32–38. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.03.011

Thermal Conversion - Wikid Energy Funhouse - UIowa Wiki. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from https://wiki.uiowa.edu/display/greenergy/Thermal+Conversion

Theron, E., Bills, C. B., Calvello Hynes, E. J., Stassen, W., & Rublee, C. (2022). Climate change and emergency care in Africa: A scoping review. African Journal of Emergency Medicine, 12(2), 121–128. https://doi.org/10.1016/J.AFJEM.2022.02.003

Tian, Y., & Zhao, C. Y. (2013). A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*, *104*, 538–553. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.051

Vijay, V., Kapoor, R., Singh, P., Hiloidhari, M., & Ghosh, P. (2022). Sustainable utilization of biomass resources for decentralized energy generation and climate change mitigation: A regional case study in India. Environmental Research, 212, 113257. https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.113257

Vila-Cortavitarte, M., Lastra-González, P., Calzada-Pérez, M. Á., & Indacoechea-Vega, I. (2018). Analysis of the influence of using recycled polystyrene as a substitute for bitumen in the behaviour of asphalt concrete mixtures. *Journal of Cleaner Production*, *170*, 1279–1287. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.232

Vimala, P. P., & Mathew, L. (2016). Biodegradation of Polyethylene Using Bacillus Subtilis. *Procedia Technology*, *24*, 232–239. https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.031

Vliet, G. C. (2000). Principles of Solar Engineering. In *Journal of Solar Energy Engineering* (Vol. 122). https://doi.org/10.1115/1.1288930

WEO. (n.d.). Retrieved November 12, 2019, from https://www.iea.org/weo/

Wong, S. L., Ngadi, N., Abdullah, T. A. T., & Inuwa, I. M. (2015). Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *50*, 1167–1180. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.063

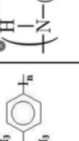
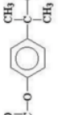
Yi, Y., Salonitis, K., Tsoutsanis, P., Litos, L., & Patsavelas, J. (2017). Improving the Curing Cycle Time through the Numerical Modeling of air Flow in Industrial Continuous Convection Ovens. Procedia CIRP, 63, 499–504. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.167

Zhao, Y. B., Lv, X. D., & Ni, H. G. (2018). Solvent-based separation and recycling of waste

plastics: A review. *Chemosphere*, *209*, 707–720. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.095

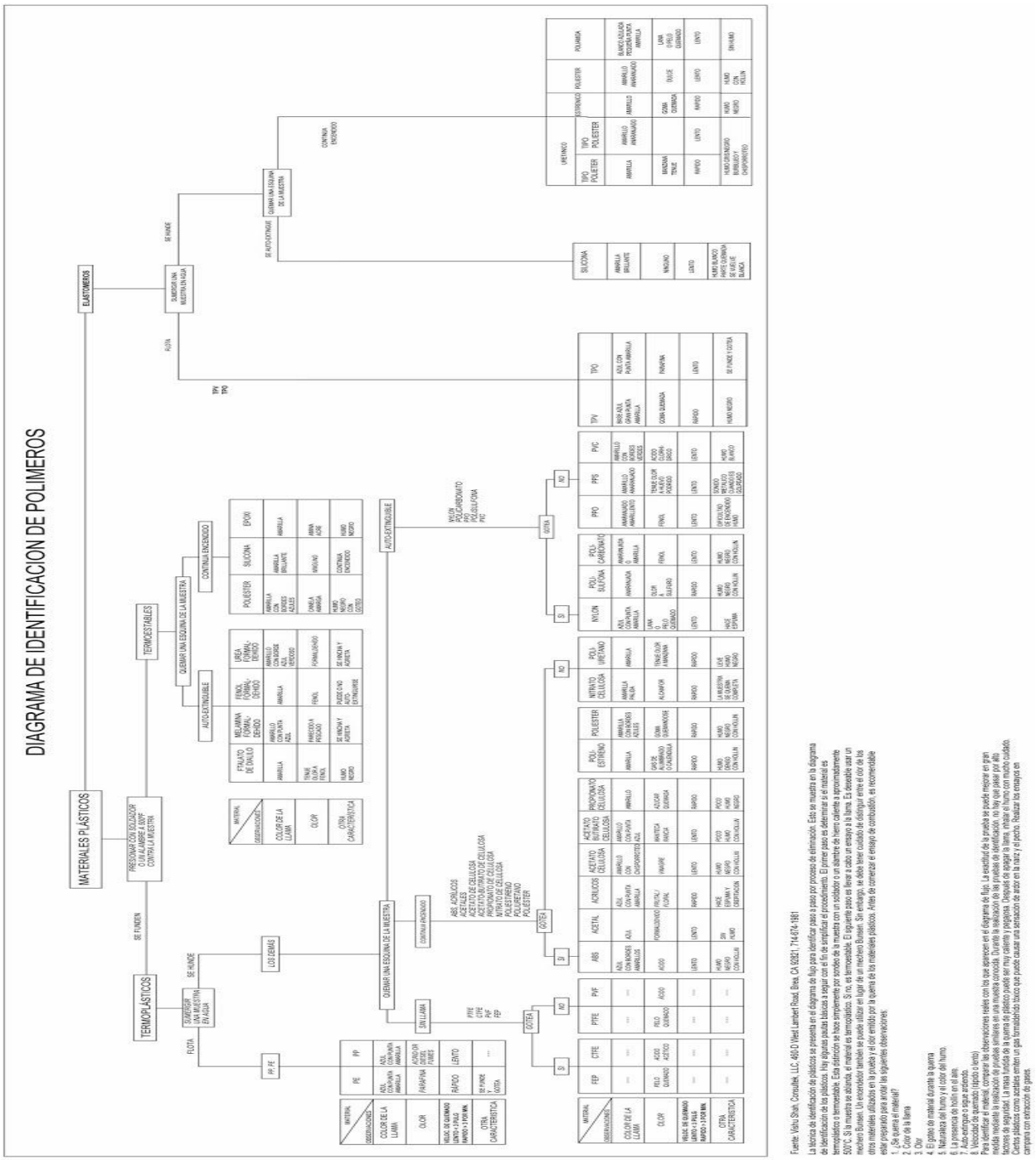
Zhu, G., Wendelin, T., Wagner, M. J., & Kutscher, C. (2014). History, current state, and future of linear Fresnel concentrating solar collectors. *Solar Energy*, *103*, 639–652. https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.021

Anexo 1 características y propiedades de los polímeros

	ABS	PP	PC	Nylon 66 Amarillo	Acetal
Composición química	 Estirè +  Acrilonitril +  Polibutadè				
Módulo elástico	1.1 - 2.9 GPa	0.896 - 1.55 GPa	2 - 2.44 GPa	2.62 - 3.2 GPa	2.5 - 5 GPa
Dureza:	5.6 - 15.3 HV	6.2 - 11.2 HV	17.7 - 21.7 HV	25.8 - 28.4 HV	14.6 - 24.8 HV
Coeficiente de Poisson	0.391 - 0.422	0.405 - 0.427	0.391 - 0.408	0.34 - 0.36	0.33 - 0.407
Resistencia mecánica a la compresión	31 - 86.2 MPa	25.1 - 55.2 MPa	69 - 86.9 MPa	55 - 104 MPa	74.9 - 124 MPa
Constante dieléctrica @ tem amb.	2.8 - 3.2	2.1 - 2.3	3.1 - 3.3	3.7 - 3.9	3.6 - 4
temperatura de transición vítrea	88.79 °C a 133.89 °C	(-25.2) - (-15.2) °C	142 - 205 °C	43.9 - 55.9 °C	(-18.2) - (-8.15) °C
Temperatura de fusión	200 - 245 °C	150 - 175 °C	270 °C	210 - 220 °C	160 - 184 °C
Reciclabilidad:	Si	Si	Si	Si	

Información obtenida de varias fuentes

Anexo 1A Caracteristicas de la combustión de Polímeros



Fuente: Volvo Shun, Consultek, LLC. 469-D West Lambert Road, Brea, CA 92821. 714-674-1981

La técnica de identificación de plásticos se presenta en el diagrama de flujo para identificar paso a paso por proceso de eliminación. Este se muestra en la diagrama de identificación de los plásticos. Hay algunas pautas básicas a seguir con el fin de simplificar el procedimiento. El primer paso es determinar si el material es termoplástico o termoestable. Esta distinción se hace simplemente por sondeo de la muestra con un soldador o un alambre de hierro caliente a aproximadamente 500°C. Si la muestra se ablanda, el material es termoplástico. Si no, es termoestable. El siguiente paso es llevar a cabo un ensayo a la llama. Es deseable usar un mechero Bunsen. Un encendedor también se puede utilizar en lugar de un mechero Bunsen. Sin embargo, se debe tener cuidado de distinguir entre el olor de los otros materiales utilizados en la prueba y el olor emitido por la quema de los materiales plásticos. Antes de comenzar el ensayo de combustión, es recomendable estar preparado para anotar las siguientes observaciones:

1. ¿Se quema el material?
2. Color de la llama
3. Olor
4. El goteo de material durante la quema
5. Naturaleza del humo y el color del humo.
6. La presencia de hollín en el aire.
7. Auto-extinguir o seguir ardiendo.
8. Velocidad de quemado (rápido o lento)
9. Naturaleza de la ceniza. Describir las observaciones reales con las que aparecen en el diagrama de flujo. La sensibilidad de la prueba se puede mejorar en gran medida mediante el uso de un espectrómetro de masas para identificar los productos de combustión. No hay que pasar por alto factores de seguridad. La mesa tendrá de la quema de plástico puede ser muy caliente y peligrosa. Después de apagar la llama, inhalar el humo con mucho cuidado. Ciertos plásticos como acetales emiten un gas formaldehído tóxico que puede causar una sensación de asfixia en la nariz y el pecho. Realizar los ensayos en campana con extracción de gases.

Ensinger (13de diciembre de 2015) manual para identificación de plásticos. Recuperado de

http://vengodelaedaddelplastico.blogspot.com/2015/12/diagrama-de-identificacion-de-polimeros.html

Anexo 2 Plan de experimentación y análisis de varianza

A.- Plan de experimentación con los resultados obtenidos

OrdenEst	Orden Corrida	PtCentral	Bloques	X1	X2...Xn	Y
Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7

Columna 1 indica el orden en que deben realizarse los experimentos (es un orden aleatorio para evitar lo que se conoce como ruido). Columna 2 señala el total de experimentos -Columna 3 indica con un cero los puntos centrales- Columna 4 indica los bloque o tiempo en los que se realizan los experimentos- Columna 5 y 6 ...n indica los valores que tomaran las variables X's a evaluar en cada experimento. La última contiene los valores de la variable Y que se obtiene con los diferentes valores de X

B.- Tabla de Análisis de varianza ANOVA

Fuente	GL	SC	MC	F	P
C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6

La C1 indica la fuente de variación es decir la que corresponde a las X's y el error,

La C2 muestra los grados de libertad del análisis

La C3 indica la suma de cuadrados

La C4 indica la media de cuadrados,

La C5 proporciona el valor del estadístico de prueba F

La C6 es el estadístico P

Anexo 3

Análisis de la evaluación de los parámetros de diseño del reservorio de calor para las posiciones de los termómetros Y2 a Y5.

Y2= Temperatura posición central

En la tabla A1 se muestra el análisis de varianza ANOVA. Considerando el valor del estadístico P, para el ventilador es 0.0 y para el material receptor de 0.001 y su interacción es 0.002 los tres valores son menor al error estadístico α = 0.05 con lo se concluye que ambas variables, así como su interacción influyen en la temperatura obtenida. La gráfica de pareto, muestra una mayor influencia del tipo ventilador figura A1. Estos resultados también se observan en la gráfica de interacciones figura A2.

Tabla A1 ANOVA Y2

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	3521.5	1173.83	213.42	0
Linear	2	3209	1604.5	291.73	0
ventilador	1	2664.5	2664.5	484.45	0
material receptor	1	544.5	544.5	99	0.001
2-Way Interactions	1	312.5	312.5	56.82	0.002
ventilador*material receptor	1	312.5	312.5	56.82	0.002
Error	4	22	5.5		
Total	7	3543.5			

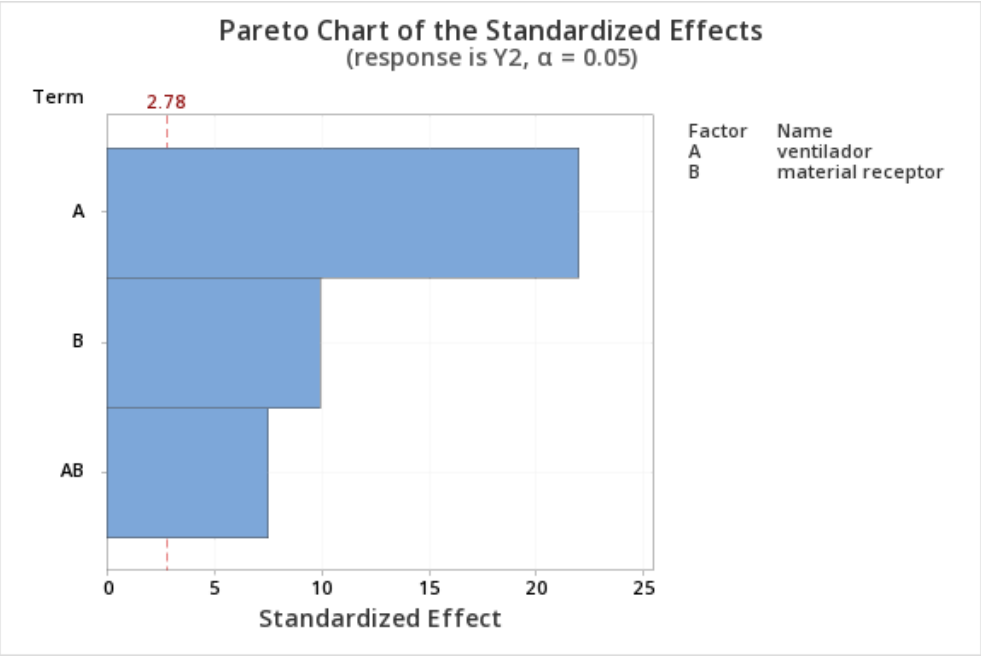
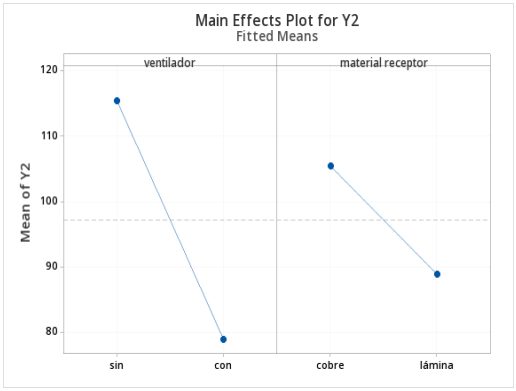


Figura A1 gráfica de pareto Y2



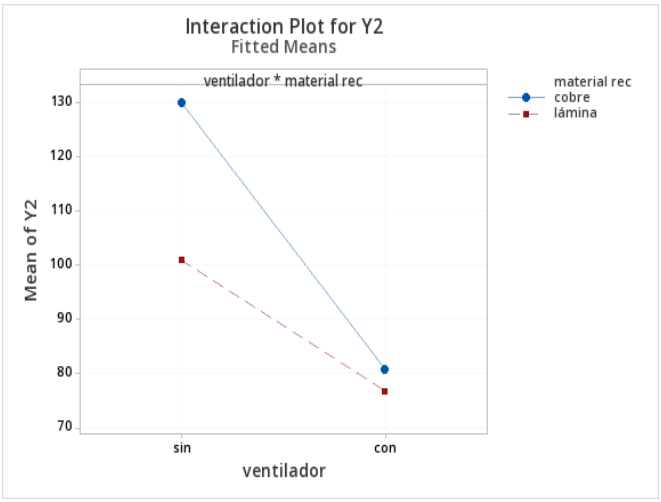


Figura A2 gráfica de Efectos principales y gráfica de interacciones Y2

Análisis para Y3= Temperatura posición superior izquierda

En la tabla A2 se muestra el análisis de varianza ANOVA. Considerando el valor del estadístico P, para el ventilador es 0.002, para el material receptor de 0.004 y su interacción es 0.021 los tres valores son menor al error estadístico α = 0.05 con lo cual se concluye que ambas variables, así como su interacción influyen en la temperatura obtenida. La gráfica de

pareto muestra una mayor influencia del tipo ventilador figura A3. Estos resultados también se observan en la figura A4.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	1266.38	422.13	33.44	0.003
Linear	2	1095.25	547.63	43.38	0.002
ventilador	1	630.13	630.13	49.91	0.002
material receptor	1	465.12	465.12	36.84	0.004
2-Way Interactions	1	171.13	171.13	13.55	0.021
ventilador*material receptor	1	171.13	171.13	13.55	0.021
Error	4	50.5	12.63		
Total	7	1316.88			

Tabla A2 ANOVA Y3

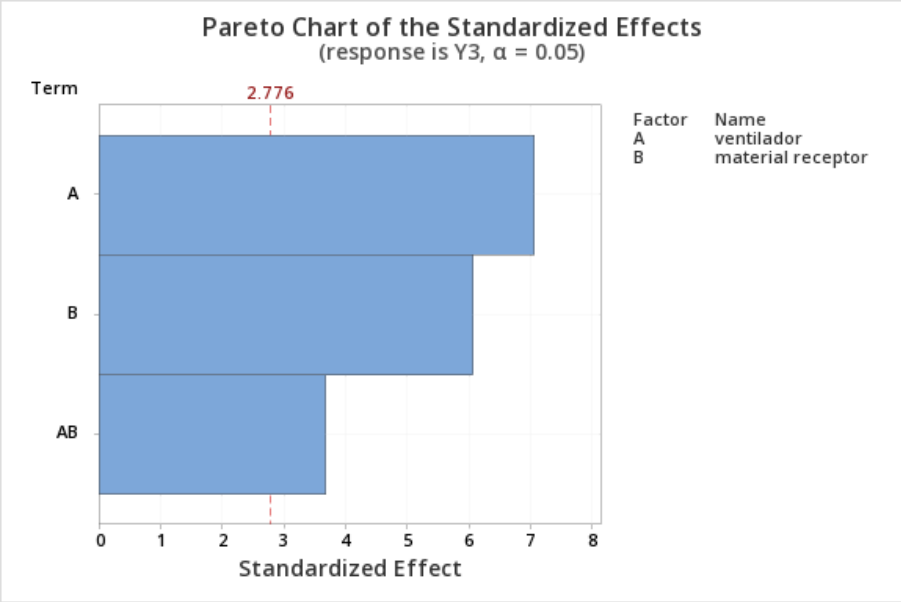


Figura A3 gráfica de pareto Y3

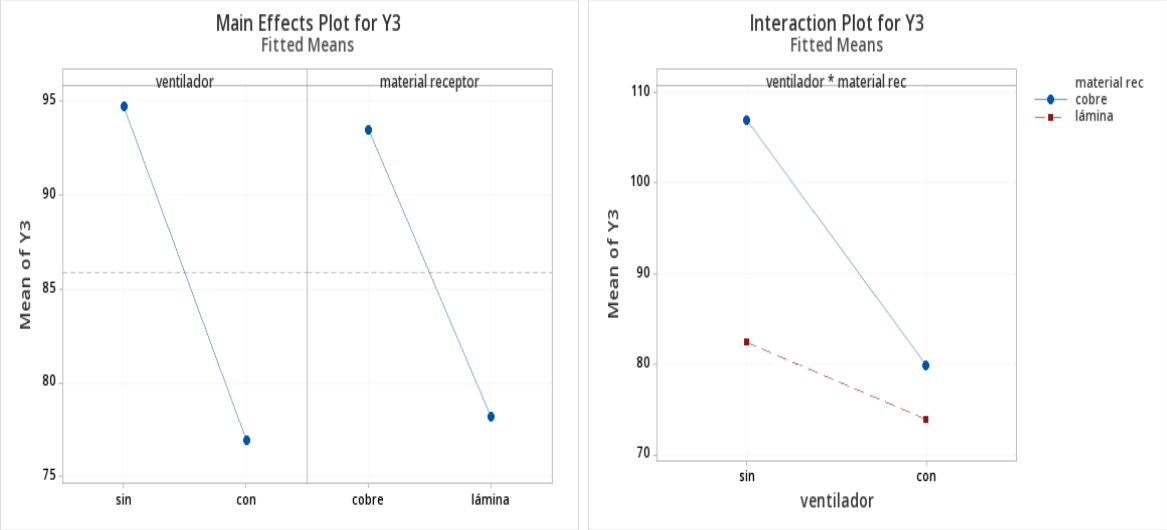


Figura A4 gráfica de Efectos principales y gráfica de interacciones Y3

Análisis para Y4= Temperatura posición inferior izquierda

En la tabla A3 se muestra el análisis de varianza ANOVA. Considerando el valor del estadístico P, para el ventilador es 0.011, para el material receptor de 0.671 y su interacción es 0.671 en esta zona solo el vapor de P para el ventilador es menor al error estadístico α = 0.05 con lo cual se puede concluir que solo esta variable influye en la temperatura obtenida. La gráfica de pareto y de interacciones muestran este mismo resultado figuras A5 y A6.

Tabla A3 ANOVA Y4

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	429.5	143.167	6.66	0.049
Linear	2	425	212.5	9.88	0.028
ventilador	1	420.5	420.5	19.56	0.011

material receptor	1	4.5	4.5	0.21	0.671
2-Way Interactions	1	4.5	4.5	0.21	0.671
ventilador*material receptor	1	4.5	4.5	0.21	0.671
Error	4	86	21.5		
Total	7	515.5			

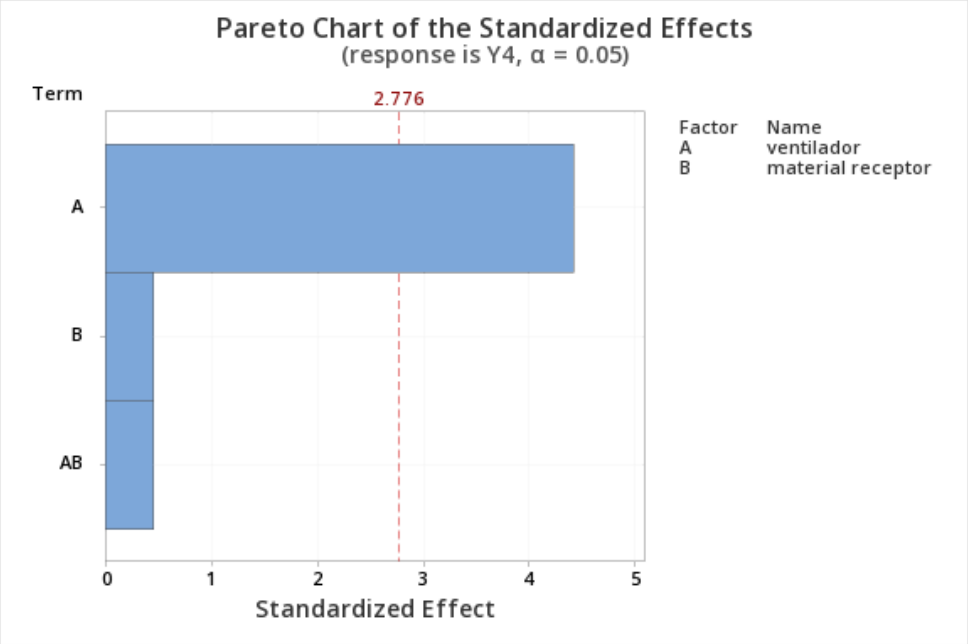


Figura A5 Gráfica de pareto Y4

La figura 4.24 muestra gráficamente el impacto de cada variable y su interacción.

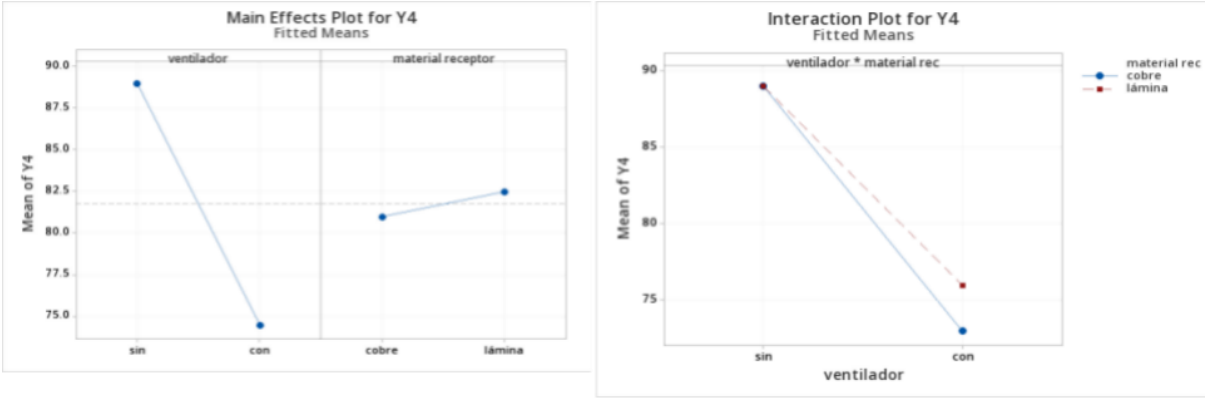


Figura A6 Gráfica de Efectos principales y gráfica de interacciones Y4

Análisis para Y5= Temperatura posición inferior derecha

En la tabla A4 se muestra el análisis de varianza ANOVA. Considerando el valor del estadístico P, para el ventilador es 0.011, para el material receptor de 0.791 y su interacción es 0.119, en esta zona solo el vapor de P para el ventilador es menor al error estadístico α = 0.05 con lo cual se concluye que solo esta variable influye en la temperatura obtenida. La gráfica de pareto y de interacciones muestran este mismo resultado figura A7 y A8.

Tabla A4 ANOVA Y5

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	612	204	8.16	0.035
Linear	2	514	257	10.28	0.027
ventilador	1	512	512	20.48	0.011
material receptor	1	2	2	0.08	0.791
2-Way Interactions	1	98	98	3.92	0.119
ventilador*material receptor	1	98	98	3.92	0.119

Error	4	100	25		
Total	7	712			

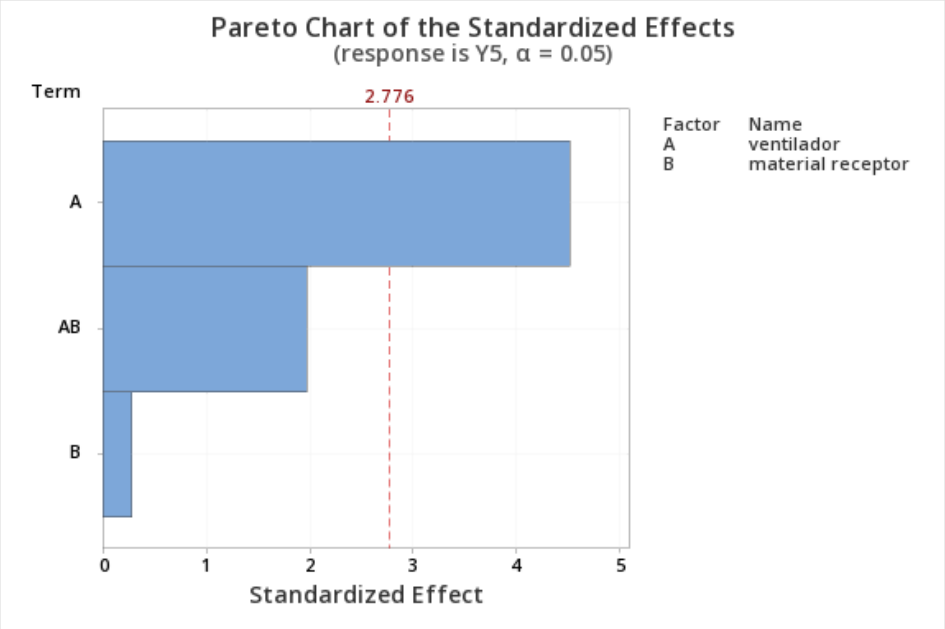


Figura A7 gráfica de pareto Y5

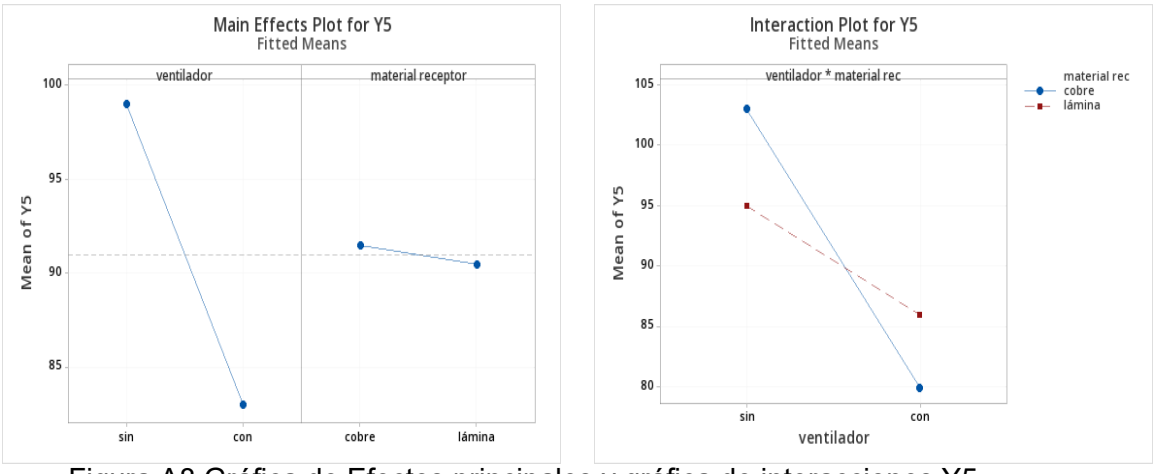


Figura A8 Gráfica de Efectos principales y gráfica de interacciones Y5